COSMOS

CARL SAGAN

Companhia Das Letras

Com texto de Neil deGrasse Tyson e prefácio de Ann Druyan

CARL SAGAN

Cosmos

Tradução
Paulo Geiger

COMPANHIA DAS LETRAS

Para Ann Druyan.

Na vastidão do espaço e na imensidão do tempo,
é uma alegria compartilhar um planeta
e uma época com Annie.

Sumário

Reflexões sobre *Cosmos*, de Carl Sagan

*Neil deGrasse Tyson**

Nem todo aquele que consegue impactar corações e mentes de uma geração inteira terá essa aceitação de sua influência nas gerações posteriores. O continuado sucesso de *Cosmos*, a obra-prima de Carl Sagan, depõe fortemente a favor da afabilidade e inteligência de seu autor. Mas também revela uma ânsia oculta de todos nós por conhecer o lugar que ocupamos no universo e compreender por que isso é tão importante em termos intelectuais, culturais e emocionais.

Essas propriedades distinguem a obra de Carl Sagan e seus colaboradores de todas as outras iniciativas de divulgação científica. A maior parte dos bons livros do gênero lhe ensina o que o autor supõe que você deva saber no campo de sua especialização — aquilo que é "quente", que é interessante — numa linguagem clara e simples. Mas raramente essa informação tem o cunho de algo maravilhoso, que é o fundamento da visão de mundo de *Cosmos*. Seria ousadia minha afirmar que *Cosmos* maneja esse poder de uma forma que influenciou de maneira profunda o modo como observamos, interpretamos e conduzimos nossas vidas?

Um dos fatos menos observados no que concerne a *Cosmos*, mas que talvez seja sua mais significativa contribuição à cultura humana, é como essa obra repetidas vezes poliniza, cruzando e entrelaçando, ciências tradicionais — astronomia, biologia, química e geologia. Tomados separadamente, cada um desses campos é nobre e consagrado pelo tempo. Mas quando vistos em conjunto — quando *Cosmos* os entretece numa tapeçaria de concepções sobre nosso lugar no universo —, sua justaposição torna-se potente e indelével. *Cosmos* foi um dos primeiros, se não o primeiro, nesse empreendimento. Nas décadas que se seguiram à sua publicação, veríamos o surgimento de campos de estudo híbridos, como a astrobiologia, a física de astropartículas, a astroquímica, a geologia planetária — alguns ainda vestindo seus hifens ou juntando seus termos.

Porém a publicação e o sucesso de vendas de *Cosmos* realizou muito mais do que isso. O tratamento que o livro dá aos temas científicos está sempre mesclado com outros campos de estudo tradicionais, como história, antropologia, arte e filosofia, mostrando pela primeira vez como e por que os leitores devem abranger todas as formas de ciência que importam em nossa cultura.

Na época, não havia nada mais inovador, mais edificante ou mais capacitante do que os temas e as mensagens de *Cosmos*. Talvez pela primeira vez, em qualquer mídia, a pessoa que lhe estava ensinando ciência — Carl Sagan — preocupava-se com os intricados caminhos mentais que podem nos privar de uma forma racional de pensar. Sua motivação era falar com você, não lhe dar uma aula. Nesse nível de conforto pedagógico, milhões de pessoas por todo o mundo convidaram sua imagem televisiva a entrar em suas salas de estar, e suas palavras impressas a compartilhar suas

poltronas de leitura.

Quando *Cosmos* apareceu pela primeira vez, em 1980, a corrida armamentista da Guerra Fria estava diminuindo, mas assim mesmo continuava a manter as nações do mundo reféns de um arsenal nuclear de imenso poder destrutivo, oriundo das mentes de físicos. A exploração espacial, contudo, ainda era promissora. A Nasa já havia pousado a *Viking* em Marte, sete anos depois de termos caminhado na Lua. E as sondas espaciais gêmeas *Voyager* prosseguiam em seu voo de passagem pelos planetas jovianos, em seu caminho de saída do sistema solar. Isso tudo eram notícias dignas de manchetes. Mas muito mais ainda estava por vir. O ônibus espacial ainda não tinha sido lançado. A Estação Espacial Internacional só existia no papel. O Telescópio Espacial *Hubble* estava a onze anos de ser projetado. Os primeiros exoplanetas — ou planetas extrassolares, que orbitam outros sóis, que não o nosso — estavam a quinze anos de serem detectados. A rede mundial de computadores ainda estava uma década distante de se tornar uma utilidade doméstica. E mais dezenas de missões espaciais ainda seriam lançadas e chegariam a seus respectivos destinos.

Num campo que se desenvolve com tanta rapidez como a astrofísica, poderíamos pensar ser impossível escrever sobre ele um tratado atemporal. Mas em *Cosmos* você nunca está focado na última palavra do desenvolvimento da ciência. Isso está sempre mudando. Em vez disso, o foco é aquilo que a épica aventura da investigação científica significa para a Terra, para nossa espécie — para você. E essa receita funciona em qualquer época, em qualquer lugar, em qualquer geração.

---

* Neil deGrasse Tyson é astrofísico do Museu Americano de História Natural, onde atua como diretor Frederick P. Rose do Planetário Hayden. Foi o apresentador e narrador do relançamento na TV, no século XXI, da série *Cosmos*, transmitida pelo canal FOX em 2014.

Prefácio

*Ann Druyan**

Uma vez estive na beira do oceano cósmico com Carl Sagan.

Quarenta anos atrás tremíamos ao sol nos penhascos batidos pelo vento de Monterey, na costa do Pacífico no norte da Califórnia, junto com nosso coescritor, o astrônomo Steven Soter, e uma pequena equipe da televisão. Brigávamos com as provas tipográficas — com 65 centímetros de comprimento — deste livro, que se agitavam ao vento, furiosas, enquanto tentávamos não largar os cartões que eu e Steve tínhamos preparado para a fala de Carl no programa da TV. (O livro e a série de TV original que o acompanhou em 1980 foram criados ao mesmo tempo num frenesi que durou três anos, embora cada um deles contenha passagens e sequências que não existem no outro.) As páginas de roteiro e os manuscritos eram únicos em seu gênero, naquela época de relativo *low-tech*. A cada lufada vinda das ondas que brilhavam na luz, as folhas ameaçavam levantar voo em direção ao mar, como os dentes-de-leão que Carl ficava soprando para o cosmos.

As cenas que escrevemos e filmamos naquele dia acabaram constituindo a abertura do programa e as primeiras palavras do livro: "O cosmos é tudo o que existiu, existe ou existirá".

Estávamos entrando conscientemente num ritmo bíblico, com palavras que abrangeriam o ambicioso âmbito territorial de nossas explorações no espaço e no tempo. Começar a saga de 40 mil gerações de pesquisadores num mundo minúsculo tentando encontrar sua posição no cosmos exigia nada menos do que um épico floreio.

Isso se tornou o "Bem-vindo a bordo" numa viagem pessoal na nave da imaginação, viagem que 1 bilhão de pessoas fizeram, e ainda fazem, em grande número, em quase cada uma das línguas faladas em nosso "pálido ponto azul".** Desde o outono de 1980, em suas duas manifestações, *Cosmos* mobilizou multidões para os domínios mais extremos de nossa compreensão do universo, levando-as a lugares inimaginavelmente pequenos e incompreensivelmente vastos.

Alguns fundamentalistas religiosos acharam que essa primeira linha era ofensiva. Para eles, isso seria uma advertência de que Carl pretendia roubar a primazia deles quanto aos conceitos sobre o universo. Eles não estavam longe da verdade. Como em tudo que Carl escreveu, a ciência de *Cosmos* é sólida, com grandes bandeiras vermelhas retóricas advertindo o leitor nos casos em que o autor está se aventurando em especulações. (E quase quarenta anos depois, quão espantosamente proféticas têm sido a maioria das conjecturas de Sagan sobre tudo, desde as mudanças climáticas na Terra, as ambiguidades que o *VikingLander* descobriu em Marte, até seus sonhos sobre o que poderia estar nos aguardando na lua de Saturno, Titã.) Mas Carl não parou por aí.

O universo revelado pelo implacável mecanismo de correção de erros da ciência era para ele

infinitamente preferível às hipóteses não testadas da crença tradicional. Para Carl, o "espiritual" tinha de ter raízes na realidade da natureza. Ele prezava essas ideias sobre o cosmos que permaneciam, após os mais rigorosos experimentos e a mais rigorosa observação. O insight científico o fazia *sentir* algo, uma sensação crescente, um reconhecimento que ele só podia comparar ao que temos quando nos apaixonamos. E ele costumava dizer: "Quando você está apaixonado, você quer contar isso ao mundo".

Esse é o grande e aberto abraço de boas-vindas de *Cosmos*, tão longe do tédio mortal de uma aula de ciências em que se vive consultando o relógio quanto Titã está da Terra. A questão é não ter medo de levar as descobertas da ciência para o *coração*.

Para muitos, *Cosmos* é o primeiro encontro com o universo, de que você pensava estar de antemão excluído porque não é bom em matemática, ou porque vive num lugar onde não há cientistas que o convidem a entrar. Carl queria que todos embarcassem nessa viagem, experimentassem o poder da visão científica e as maravilhas que ela revela. Seu segredo foi reevocar a pessoa que ele mesmo era antes de compreender o conceito e então rastrear suas próprias *etapas de pensamento* em direção à compreensão. Funcionou. Ele inspirou legiões a estudar, ensinar e fazer ciência.

A Biblioteca do Congresso apontou *Cosmos* como um dos 88 livros "que moldaram os Estados Unidos". É uma lista que inclui obras tão impactantes como *Senso comum*, de Thomas Paine, *Moby Dick*, de Herman Melville, *A cabana do Pai Tomás*, de Harriet Beecher Stowe, e *On the Road — Pé na estrada*, de Jack Kerouac. Estão listadas em ordem cronológica, a primeira delas, publicada em 1751 (décadas antes que se consolidasse o conceito de um governo pelo, para e do povo), também um livro sobre ciência. Escrito por outro que acreditava que a democracia requer que exista um público informado de tomadores de decisão. A lista começa com *Experiments and Observations on Electricity* [Experimentos e observações sobre eletricidade], de Benjamin Franklin. Aquele livro e este aqui são atos apaixonados de cidadania de dois cientistas que quiseram que a ciência pertencesse a todos nós.

Nesta primavera voltei pela primeira vez às margens do oceano cósmico. Estive lá com outra equipe de televisão para fazer as tomadas das cenas de abertura da nova série *Cosmos*. Nosso anfitrião, o astrofísico Neil deGrasse Tyson, é um dos muitos cientistas cujas jovens vidas foram marcadas por Carl. Fico feliz em poder relatar que aquele terreno continua tão intacto, deslumbrante e inspirador quanto era na primeira vez.

Enquanto olhava as águas cintilantes do Pacífico, eu estava buscando Carl. Ele sabia que não caberia a qualquer geração isolada ver o quadro completo. Essa é a questão. O quadro nunca está completo. Há sempre muito mais ainda por ser descoberto.

Bem-vindo a bordo. Mais uma vez, chegou o momento de sair navegando para as estrelas.

---

* Ann Druyan trabalhou como diretora de criação da Mensagem Interestelar Voyager, da Nasa, e foi coautora, com Carl Sagan, de *Cosmos*, assim como cocriadora, também com Sagan, do filme *Contato* e de muitas outras obras. É produtora executiva e escritora de *Cosmos*: *Uma odisseia do espaço-tempo*, série televisiva apresentada no canal FOX em 2014. Foi casada com Sagan até sua morte. Os asteroides que levam seus nomes formam uma perpétua aliança em sua órbita em torno do Sol.

** Título de um livro de Carl Sagan, *Pálido ponto azul*, de 1994, inspirado na fotografia da Terra tirada a mais de 6 bilhões de quilômetros de distância. (N. T.)

NOTA DA REVISÃO TÉCNICA

Publicado pela primeira vez em 1980, *Cosmos* reproduz alguns dos conhecimentos mais avançados da época sobre a natureza, a vida e o universo — e se mantém até hoje como uma das mais importantes obras de divulgação científica da história. Muito disso se deve à devoção de Carl Sagan à prática e à divulgação da ciência, além da incomparável habilidade de transmitir ao leitor sua admiração pela natureza.

Embora diversas descobertas fascinantes tenham ocorrido nos últimos quarenta anos — o genoma humano foi mapeado, nosso conhecimento acerca do cérebro vem sendo profundamente modificado, a astrobiologia e a busca por exoplanetas se tornaram uma área de intensa atividade científica, a confirmação da existência de matéria escura ampliou o que se entende sobre o universo —, o tema central deste livro nunca estará desatualizado: o nosso fascínio pelo conhecimento e a prática da ciência como atividade cultural.

Optou-se nesta edição por não incluir de forma exaustiva notas que atualizassem novas descobertas a respeito dos temas aqui tratados, preservando a missão original de *Cosmos*: dar a medida de nosso ínfimo tamanho no universo e de nossa infinita singularidade como seres.

Introdução

Há de vir o tempo no qual uma pesquisa diligente durante longos períodos revelará coisas que hoje estão ocultas. A duração de uma vida, mesmo que toda dedicada ao céu, não seria suficiente para a investigação de um tema tão vasto [...]. E por isso esse conhecimento só se desdobrará ao longo de sucessivas eras. Virá um tempo no qual nossos descendentes ficarão espantados com o fato de que não sabíamos de coisas que para eles serão tão evidentes [...]. Muitas descobertas estão reservadas para épocas ainda por vir, quando a lembrança sobre nós estará apagada. Nosso universo é um caso lamentavelmente ínfimo, a menos que encerre coisas que cada época terá de investigar [...]. A natureza não revela seus mistérios de uma só vez.

Sêneca, *Questões naturais*, livro 7, século I

Em tempos antigos, na fala e nos hábitos cotidianos, os acontecimentos mais mundanos eram relacionados aos maiores eventos cósmicos. Um exemplo delicioso é um encantamento contra o verme que, segundo os assírios em 1000 a.C., causava dor de dente. Ele começa com a origem do universo e termina com uma cura para a dor de dente:

Após Anu ter criado o céu,
E o céu ter criado a Terra,
E a Terra ter criado os rios,
E os rios terem criado os canais,
E os canais terem criado os pântanos,
E os pântanos terem criado o verme,
O verme foi procurar Samas, chorando,
Suas lágrimas rolando diante de Ea:
"O que você vai me dar para comer,
O que vai me dar para beber?".
"Vou lhe dar o figo seco
E o damasco."
"E o que são eles para mim? O figo seco
E o damasco!
Suspenda-me, e deixe-me morar
entre os dentes e as gengivas!..."
Por ter dito isso, oh, verme,
Possa Ea golpeá-lo com a potência
De sua mão!
(Encantamento contra dor de dente)

O tratamento: Pegue cerveja de segunda [...] e óleo e misture tudo;
Você deve pronunciar o encantamento três vezes e em seguida pôr o medicamento sobre o dente.

Nossos antepassados estavam ansiosos por compreender o mundo, mas ainda não conseguiam encontrar um método. Imaginavam um universo pequeno, singular, arrumado, no qual as forças dominantes eram deuses, como Anu, Ea e Samas. Nesse universo os seres humanos desempenhavam um papel importante, se não central. Estamos intimamente ligados ao resto da natureza. O tratamento da dor de dente com cerveja de segunda tinha a ver com os mais profundos mistérios cósmicos.

Em nossos dias, descobrimos um modo poderoso e elegante de compreender o universo, um método chamado ciência; ele nos revelou um universo tão antigo e tão vasto que as questões humanas parecem, à primeira vista, ter pouca importância. Crescemos distantes do universo. Ele parecia remoto e irrelevante para nossas questões do dia a dia. Mas a ciência descobriu não só que o universo tem uma grandeza vertiginosa e extática, não só que ele é acessível à compreensão humana, mas também que somos, num sentido muito real e de grande alcance, parte desse cosmos, nascidos dele, nosso destino profundamente conectado ao dele. Os mais básicos e triviais eventos que dizem respeito ao homem levam ao universo e a suas origens. Este livro é dedicado à exploração dessa perspectiva cósmica.

No verão e no outono de 1976, como membro da equipe de voo do veículo de solo da *Viking* para obtenção de imagens, eu me envolvi, com uma centena de colegas cientistas, na exploração do planeta Marte. Pela primeira vez na história humana tínhamos pousado dois veículos espaciais na superfície de outro mundo. Os resultados, descritos com mais detalhes no capítulo 5, foram espetaculares, deixando evidente o significado histórico da missão. Mesmo assim, o grande público não aprendeu quase nada desses grandes acontecimentos. A imprensa quase não lhes deu atenção, a televisão ignorou a missão quase por completo. Quando ficou claro que não se apresentaria uma resposta definitiva quanto à questão de haver ou não vida em Marte, o interesse diminuiu ainda mais. Não havia muita tolerância com a ambiguidade. Ante a descoberta de que a cor do céu marciano era uma espécie de amarelo-rosado, e não o azul que, de maneira equivocada, tinha sido relatado a princípio, o anúncio foi saudado pelo grupo de repórteres com um coro de vaias bem-humoradas — eles queriam que Marte fosse, até quanto a esse aspecto, parecido com a Terra. Achavam que seu público iria pouco a pouco se desinteressar à medida que o planeta se revelasse cada vez menos parecido com o nosso. Ainda assim, as paisagens marcianas são espantosas, com vistas de tirar o fôlego. Eu estava ciente, por experiência própria, de que existe um enorme interesse global pela exploração dos planetas e por muitos tópicos científicos — a origem da vida, a Terra e o cosmos, a busca por inteligência extraterrestre, nossa conexão com o universo. E tinha certeza de que esse interesse poderia ser estimulado por meio do mais poderoso dos meios de comunicação, a televisão.

Essa minha percepção foi compartilhada com B. Gentry Lee, o diretor de análise de dados e do planejamento da missão Viking. Dispostos a enfrentar qualquer parada, decidimos fazer nós mesmos alguma coisa em relação a isso. Lee propôs que criássemos uma produtora dedicada à comunicação e divulgação científica de um modo envolvente e acessível. Durante os meses seguintes consideramos e avaliamos vários projetos. Porém o mais interessante, de longe, foi o de uma investigação proposta pela KCET, emissora de TV em Los Angeles afiliada ao Serviço Público de

Radiodifusão. Mais tarde, concordamos todos em produzir uma série de televisão em treze partes, orientada à astronomia, mas com uma ampla perspectiva humana. Deveria ser dirigida a uma audiência popular, ser visual e musicalmente impactante, envolver tanto o coração quanto a mente. Conversamos com subscritores, contratamos um produtor executivo e vimo-nos engajados num projeto de três anos chamado *Cosmos*. No momento em que isto é escrito, ele tem uma audiência em âmbito mundial estimada em 200 milhões de pessoas, ou quase 5% da população humana do planeta. Baseia-se na premissa de que o público é muito mais inteligente do que em geral se acredita; de que as mais profundas questões científicas sobre a natureza e a origem do mundo instigam o interesse e as paixões de espantosas quantidades de gente. A época atual representa uma grande encruzilhada para a nossa civilização, e talvez para a nossa espécie. Seja qual for o rumo que tomarmos, nosso destino está indissoluvelmente ligado à ciência. Para nós é essencial, como simples questão de sobrevivência, compreender a ciência. Além disso, a ciência é um deleite; a evolução nos fez ter prazer quando compreendemos — e os que compreendem têm mais probabilidade de sobreviver. A série de televisão *Cosmos* e este livro representam um esperançoso experimento na comunicação de algumas das ideias, dos métodos e das alegrias da ciência.

O livro e a série evoluíram juntos. Em certo sentido, um é baseado no outro. Muitas ilustrações destas páginas baseiam-se nas impactantes imagens visuais que foram preparadas para a série televisiva. Mas livros e séries de TV têm públicos diferentes e demandam abordagens diversas. Uma das grandes virtudes de um livro é que ele possibilita ao leitor retornar várias vezes a passagens obscuras ou difíceis; isso só agora começa a ser possível na televisão, com o desenvolvimento do videoteipe e da tecnologia do videodisco. Um escritor tem muito mais liberdade para escolher a abrangência e a profundidade de um tema no capítulo de um livro do que nos procustianos 58 minutos e trinta segundos de um programa de TV não comercial. Este livro aborda muitos itens com mais profundidade do que a série. Nele são discutidos temas que não são tratados na série de TV e vice-versa. Por exemplo, as representações do Calendário Cósmico da série não aparecem aqui — em parte porque o Calendário Cósmico é discutido em meu livro *Os dragões do Éden*; da mesma forma, não abordo aqui a vida de Robert Goddard em detalhes, porque há no livro *Broca's Brain* [O cérebro de Broca] um capítulo dedicado a ele. Porém cada episódio da série acompanha bem de perto o capítulo deste livro a ele correspondente; e gosto de pensar que o prazer suscitado por cada um é aumentado com a referência que faz ao outro. Apenas algumas poucas das mais de 250 ilustrações em cores das edições em capa dura e brochura puderam entrar nesta edição, mas todas as imagens necessárias para a compreensão do texto foram incluídas.

Para maior clareza, em alguns casos apresento uma ideia mais de uma vez — na primeira, de forma superficial, com passagens mais profundas em menções subsequentes. Isso ocorre, por exemplo, na introdução aos objetos cósmicos, no capítulo 1, que são examinados com mais detalhes adiante; ou na discussão das mutações, das enzimas e dos ácidos nucleicos, no capítulo 2. Em alguns casos, são apresentados conceitos fora de sua cronologia histórica. Por exemplo, as ideias dos cientistas gregos são apresentadas no capítulo 7, bem depois da discussão sobre Johannes Kepler, no capítulo 3. Mas acredito que uma apreciação dos gregos será mais apropriada se apresentada após constatarmos o que eles não chegaram a realizar.

Como a ciência é inseparável do resto do empreendimento humano, ela não pode ser discutida sem que se faça contato, às vezes de relance, às vezes frente a frente, com várias questões sociais, políticas, religiosas e filosóficas. Mesmo quando se está filmando uma série de TV sobre ciência, a ocorrência frequente, em âmbito mundial, de atividades militares pode se tornar intrusiva. Ao simular, no deserto de Mojave, a exploração de Marte com uma réplica em escala natural do veículo de solo da *Viking*, fomos interrompidos várias vezes pela Força Aérea dos Estados Unidos, em seus exercícios de bombardeio numa área de teste nas proximidades. Em Alexandria, no Egito, toda manhã, das nove às onze horas, nosso hotel era o objetivo em exercícios de metralhamento da Força Aérea egípcia. Em Samos, na Grécia, a permissão para filmar, em qualquer lugar, era retida até o último momento devido a manobras da Otan e, claramente, à construção de um labirinto de posições subterrâneas e nas montanhas para artilharia e tanques. Na Tchecoslováquia, o uso de walkie-talkies na organização da logística de filmagem numa estrada rural chamou a atenção de um caça da Força Aérea tcheca, que ficou voando em círculos até assegurarmos, em tcheco, que não estava sendo perpetrada nenhuma ameaça à segurança nacional. Na Grécia, no Egito e na Tchecoslováquia nossas equipes de filmagem eram acompanhadas em toda parte por agentes do serviço de segurança estatal. Sondagens preliminares para filmar em Kaluga, na União Soviética, para uma pesquisa sobre a vida do pioneiro russo da astronáutica Konstantin Tsiolkóvski, foram desencorajadas — porque, descobrimos mais tarde, lá iriam se realizar julgamentos de dissidentes. Nossas equipes foram tratadas inúmeras vezes nos países que visitamos com a maior gentileza; mas a presença militar global, o medo que habita os corações das nações, estava por toda a parte. A experiência ratificou minha decisão de tratar, sempre que relevante, de questões sociais, tanto na série quanto no livro.

A ciência é um processo contínuo. Nunca termina. Não existe uma única e definitiva verdade a ser alcançada, após a qual todos os cientistas poderão se aposentar. E, por ser assim, o mundo é muito mais interessante, tanto para os cientistas quanto para os milhões de pessoas em cada nação que, conquanto não sejam cientistas profissionais, estão profundamente interessados nos métodos e nos achados da ciência. Assim, embora muito pouca coisa apresentada no livro *Cosmos* tenha ficado obsoleta desde sua primeira publicação, houve muitas novas e significativas descobertas.

As naves *Voyager 1* e *2* chegaram ao sistema de Saturno e revelaram uma grande quantidade de coisas maravilhosas concernentes ao planeta, seu intricado sistema de anéis e os muitos satélites que o circundam. Talvez o mais interessante entre estes seja Titã, que, sabe-se hoje, tem uma atmosfera parecida com a que havia na Terra em seus primórdios, uma densa camada de névoa composta por moléculas orgânicas complexas, e talvez uma superfície oceânica de hidrocarbonetos líquidos. Tem sido feita nos últimos tempos uma série de observações dos anéis de detritos em torno de estrelas jovens. Esses anéis podem estar em processo de se consolidar em novos sistemas planetários e sugerem que pode haver uma avassaladora abundância de planetas em torno de estrelas da Via Láctea, a nossa galáxia. De maneira inesperada, descobriu-se vida pululando em componentes de enxofre, em correntes de temperatura muito alta no fundo do oceano terrestre. Acumularam-se novas evidências que indicam que de tempos em tempos eles são pulverizados para dentro do sistema solar interior, desencadeando a extinção de muitas espécies na Terra. Foram reveladas

grandes regiões de espaço intergaláctico que, ao que tudo indica, se reduzem em galáxias. Foram sugeridos novos e importantes componentes do universo que suscitam a questão concernente ao destino final.

E o ritmo de novas descobertas continua. Espaçonaves do Japão, da Agência Espacial Europeia e da União Soviética estão programadas para interceptar o cometa Halley em 1986. O Telescópio Espacial dos Estados Unidos, o maior observatório em órbita jamais testado, tem seu lançamento previsto para antes do fim da década. Estão surgindo oportunidades importantes de missões espaciais para Marte, para outros cometas, para asteroides, para Titã. A espaçonave americana *Galileu*, programada para chegar ao sistema de Júpiter em 1988, está projetada para largar a primeira sonda na atmosfera de um dos grandes planetas. E há também um lado sombrio nessa sequência de descobertas científicas: um trabalho recente sugere que, na esteira de uma possível guerra nuclear, a fuligem e a poeira resultantes, ao se elevar na atmosfera, vão escurecer e esfriar a Terra, produzindo uma catástrofe sem precedentes até em nações nas quais nem uma só bomba tenha sido detonada. Nossa tecnologia permite que exploremos cada vez mais as maravilhas do cosmos e também que reduzamos a Terra ao caos. Temos o privilégio de viver em, e se tivermos sorte de influenciar, uma das épocas mais cruciais na história da espécie humana.

Num projeto dessa magnitude é impossível agradecer a cada um que tenha contribuído para ele. Contudo, quero mencionar, em especial, B. Gentry Lee; os membros da equipe de produção de *Cosmos*, entre eles os produtores seniores Geoffrey Haines-Stiles e David Kennard e o produtor executivo Adrian Malone; os artistas Jon Lomberg (que desempenhou um papel crucial no projeto original e na organização dos aspectos visuais de *Cosmos*), John Allison, Adolf Schaller, Rick Sternbach, Don Davis, Brown e Anne Norcia; os consultores Donald Goldsmith, Owen Gingerich, Paul Fox e Diane Ackerman; Cameron Beck; a direção da KCET — sobretudo Greg Andorfer, que foi quem nos trouxe a proposta da emissora —, Chuck Allen, William Lamb e James Loper; e os subscritores e coprodutores da série de televisão *Cosmos*, entre os quais Atlantic Richfield Company, Corporation for Public Broadcasting, Arthur Vining Davis Foundations, Alfred P. Sloan Foundation, British Broadcasting Corporation e Polytel International. Outros, que ajudaram a esclarecer questões referentes a fatos ou abordagens, são listados no final do livro. No entanto, a responsabilidade final pelo conteúdo da obra, claro, é minha. Agradeço à equipe da Random House, em especial minha editora, Anne Freedgood, por seu trabalho competente e sua paciência quando os prazos finais para a série de TV e para o livro pareceram estar em conflito. E tenho uma dívida de gratidão especial com Shirley Arden, minha assistente executiva, que datilografou os primeiros rascunhos deste livro e conduziu os esboços seguintes por todos os estágios de produção, com sua costumeira e animada competência. Esse é apenas um dos muitos motivos pelos quais o projeto de *Cosmos* lhe é tão profundamente devedor. Sou mais grato do que seja capaz de expressar à Universidade Cornell, por me conceder uma licença de dois anos para realizar este projeto, a meus colegas e alunos daquela instituição, e a meus colegas da Nasa, do Laboratório de Propulsão a Jato e da equipe de captação de imagens da *Voyager*.

Minha dívida maior no que concerne ao livro é com Ann Druyan e Steven Soter, meus coautores na série de TV. Eles deram contribuições fundamentais e frequentes às ideias básicas e suas conexões,

a toda estrutura intelectual dos episódios e à tão feliz determinação do estilo. Sou-lhes muitíssimo grato por suas leituras vigorosamente críticas das primeiras versões do livro, por suas construtivas e criativas sugestões na revisão de muitos rascunhos e por suas grandes contribuições ao roteiro para a televisão, que de muitas maneiras influenciaram o conteúdo destas páginas. O prazer de que desfrutei em nossas muitas discussões é uma de minhas principais recompensas no projeto de *Cosmos*.

Ithaca e Los Angeles,
maio de 1980
e julho de 1984

1. As margens do oceano cósmico

Os primeiros homens criados e formados foram chamados de Feiticeiro do Riso Fatal, Feiticeiro da Noite, Desleixado e Feiticeiro Negro […]. Foram dotados de inteligência, conseguiam saber de tudo que existia no mundo. Quando olhavam, viam no mesmo instante tudo o que havia à sua volta e contemplavam por sua vez o arco do céu e a superfície redonda da Terra […]. [Então disse o Criador]: "Eles sabem tudo […] o que faremos com eles agora? Que sua vista alcance apenas o que lhes está próximo; que só enxerguem um pouco da superfície da Terra! […] Não são eles, por natureza, simples criaturas de nossa feitura? Têm de ser deuses também?".

Popol Vuh, dos maias quichés

O conhecido é finito, o desconhecido, infinito; intelectualmente estamos numa ilhota no meio de um oceano ilimitado de inexplicabilidade. Nossa função em cada geração é reivindicar um pouco mais de terra firme.

T. H. Huxley, 1887

O cosmos é tudo o que existiu, existe ou existirá. Nossas contemplações do universo, mesmo as mais breves ou superficiais, mexem conosco — há sempre um arrepio na espinha, um embargo na voz, uma sensação de fraqueza, como a memória distante da queda de uma grande altura. Sabemos que estamos diante do maior dos mistérios.

A extensão e a idade do cosmos estão além da compreensão normal humana. Perdido em algum lugar entre a imensidão e a eternidade fica o minúsculo planeta que é nosso lar. Numa perspectiva cósmica, a maioria das preocupações humanas parece ser insignificante, até mesmo mesquinha. Porém nossa espécie é jovem e curiosa e valente e demonstra ser muito promissora. Nos últimos poucos milênios fizemos as mais espantosas e inesperadas descobertas sobre o cosmos e nosso lugar nele, em explorações de tirar o fôlego. Elas nos fazem lembrar que os humanos evoluíram se fazendo perguntas, que a compreensão é uma alegria, que o conhecimento é um pré-requisito para a sobrevivência. Acredito que nosso futuro depende de quão bem vamos conhecer esse cosmos, no qual flutuamos como um grão de poeira no céu matinal.

Essas explorações requerem ao mesmo tempo ceticismo e imaginação. A imaginação nos levará com frequência a mundos que nunca existiram. Mas sem ela não iríamos a lugar algum. O ceticismo nos permite distinguir a fantasia do fato, testar nossas especulações. A riqueza do cosmos é imensurável — em fatos da maior elegância, em inter-relações requintadas, na sutil maquinaria do deslumbramento.

A superfície da Terra é a margem do oceano cósmico. De lá aprendemos a maior parte do que sabemos. Em tempos recentes entramos um pouco no mar, o suficiente para molhar os artelhos ou, no máximo, os tornozelos. A água parece convidativa. O oceano nos chama. Uma parte de nosso ser sabe que foi dali que viemos. Ansiamos por retornar. Essas aspirações, creio, não são irreverentes,

embora possam perturbar os deuses, sejam lá quem forem.

As dimensões do cosmos são tão grandes que usar para elas as unidades de distância comuns, como metros, quilômetros ou milhas, que são adequadas às distâncias na Terra, não faria sentido. Em vez disso, no cosmos medimos distâncias com base na velocidade da luz. Um raio de luz viaja 186 mil milhas, cerca de 300 mil quilômetros, por segundo, o que corresponde mais ou menos a sete voltas em torno da Terra. Em oito minutos ele viaja do Sol até a Terra. Pode-se dizer, assim, que o Sol está a oito minutos-luz de distância da Terra. Num ano, a luz atravessa quase 10 trilhões de quilômetros no espaço. Essa unidade de comprimento, a distância que a luz percorre em um ano, chama-se ano-luz. Ela não mede tempo, e sim distâncias — distâncias enormes.

A Terra é um lugar. De forma alguma é o único lugar existente. Nem mesmo é um lugar típico. Nenhum planeta, estrela ou galáxia pode ser considerado um lugar típico, porque o cosmos é, na maior parte, vazio. O único lugar típico fica no vasto e frio vácuo do universo, a noite perpétua do espaço intergaláctico, um lugar tão estranho e desolado que, em comparação, os planetas, as estrelas e as galáxias parecem ser dolorosamente raros e aprazíveis. Se fôssemos parar num ponto aleatório do cosmos, a probabilidade de estarmos em ou perto de um planeta seria de menos de uma em 1 bilhão de trilhões de trilhões[1] (10^{33}, ou seja, o algarismo 1 seguido de 33 zeros). Na vida diária tais probabilidades seriam consideradas nulas. Mundos são raridades preciosas.

De um privilegiado ponto de observação intergaláctico veríamos, esparsos como espuma nas ondas do espaço, inumeráveis, tênues e ralos filamentos de luz. São as galáxias. Algumas são viajantes solitárias; a maioria habita aglomerados comuns, que se mantêm juntos, pairando sem cessar na grande escuridão cósmica. À nossa frente está o cosmos, na maior escala que conhecemos. Estamos no reino das nebulosas, a 8 bilhões de anos-luz da Terra, a meio caminho da beira do universo conhecido.

Uma galáxia é composta de gás, poeira e estrelas — bilhões de bilhões de estrelas. Cada estrela pode ser um sol para alguém. Em uma galáxia existem estrelas e mundos e, talvez, uma proliferação de coisas vivas, seres inteligentes e civilizações espaciais. Porém, à distância, uma galáxia me faz lembrar mais uma coleção desses belos objetos que achamos — conchas marinhas, talvez, ou corais, produtos do labor da natureza balouçando durante éons no oceano cósmico.

Existem algumas centenas de bilhões (10^{11}) de galáxias, cada uma, em média, com 100 bilhões de estrelas. Em todas as galáxias talvez existam tantos planetas quantas são as estrelas, $10^{11} \times 10^{11} = 10^{22}$, 10 bilhões de trilhões. Diante de números tão avassaladores, qual é a probabilidade de que apenas uma estrela das mais comuns, o Sol, esteja acompanhada de um planeta habitado? Por que seríamos nós, enfurnados em algum canto esquecido do cosmos, tão afortunados? A mim parece ser muito mais provável que o universo esteja transbordando de vida. Mas nós, humanos, ainda não sabemos. Nossas explorações estão apenas começando. A 8 bilhões de anos-luz de distância seria muito difícil achar até mesmo o aglomerado no qual está embutida nossa Via Láctea, quanto mais o Sol e a Terra. O único planeta que temos certeza de ser habitado é um minúsculo pontinho de rocha e metal, com seu brilho fraco na luz refletida do Sol, e, a essa distância, totalmente perdido.

Mas agora nossa jornada nos leva ao que os astrônomos na Terra gostam de chamar de Grupo Local de galáxias. Através de vários milhões de anos-luz, ele é composto de cerca de vinte galáxias.

É um aglomerado esparso, obscuro e despretensioso. Uma de suas galáxias é a M31, que se avista da Terra na constelação de Andrômeda. Assim como outras galáxias espirais, é um imenso cata-vento formado de estrelas, gás e poeira cósmica. M31 tem dois pequenos satélites, galáxias elípticas anãs, unidas a ela pela gravidade, a mesma lei física que me mantém sentado em minha cadeira. As leis da natureza são as mesmas em todo o cosmos. Estamos agora a 2 milhões de anos-luz de casa.

Mais além da M31 há outra galáxia muito semelhante, a nossa, seus braços em espiral girando lentamente, uma volta a cada um quarto de bilhão de anos. Agora, a 40 mil anos-luz de casa, vemo-nos caindo em direção ao massivo centro da Via Láctea. Mas se quisermos chegar à Terra, temos de redirecionar nosso curso para a longínqua periferia da Galáxia, um local obscuro perto da beira de um afastado braço da espiral.

A impressão que predomina, mesmo entre os braços da espiral, é a de estrelas que passam por nós — uma vasta rede de estrelas lindamente autoiluminadas, algumas frágeis como bolhas de sabão e tão grandes que poderiam conter 10 mil Sóis ou 1 trilhão de Terras; outras do tamanho de uma cidade pequena e 100 trilhões de vezes mais densas do que o chumbo. Algumas estrelas são solitárias, como o Sol. Muitas têm companheiras. Em geral, esses sistemas são duplos, duas estrelas que orbitam uma em torno da outra. Mas há uma gradação contínua de sistemas triplos, passando por aglomerados frouxos com algumas dezenas de estrelas, até grandes aglomerados globulares resplandecentes com 1 milhão de sóis. Algumas estrelas duplas estão tão próximas uma da outra que se tocam, e entre elas flui substância estelar. Outras estão tão distantes entre si quanto Júpiter está distante do Sol. Algumas estrelas, as supernovas, são tão brilhantes quanto a galáxia inteira que as contém; outras, os buracos negros, são invisíveis já a poucos quilômetros de distância. Algumas resplandecem com um brilho constante; outras tremeluzem sem um padrão, ou cintilam num ritmo cadenciado. Algumas giram com majestosa elegância. Outras rodopiam de maneira tão frenética que ficam achatadas nos polos. Muitas brilham sobretudo com luz visível e infravermelha; outras são também fontes brilhantes de raios X ou ondas de rádio. Estrelas azuis são quentes e jovens; estrelas amarelas, convencionais e de meia-idade; estrelas vermelhas com frequência são mais velhas e estão morrendo; e estrelas pequenas brancas ou negras estão nos estertores finais da morte. A Via Láctea contém cerca de 400 bilhões de estrelas de todo tipo que se movimentam numa graciosidade complexa e ordenada. De todas as estrelas, os habitantes da Terra conhecem de perto, até agora, apenas uma.

Todo sistema estelar é uma ilha no espaço, numa quarentena de anos-luz em relação a seus vizinhos. Posso imaginar criaturas evoluindo em lampejos de conhecimento em inumeráveis mundos, cada um supondo no início que seu insignificante planeta e seus míseros e poucos sóis sejam tudo que existe. Crescemos no isolamento. Só aos poucos tomamos conhecimento do cosmos.

Algumas estrelas podem estar cercadas de milhões de mundinhos sem vida e rochosos, sistemas planetários congelados em algum estágio inicial de sua evolução. Talvez haja muitas estrelas com sistemas planetários bem parecidos com o nosso: na periferia, grandes planetas gasosos com anéis e luas geladas, e, mais para o centro, pequenos planetas quentes, de coloração azul e branca, cobertos de nuvens. Em alguns deles pode ter se desenvolvido alguma forma de vida inteligente, que retrabalhou a superfície planetária com um imenso empreendimento de engenharia. Esses são

nossos irmãos e nossas irmãs no cosmos. Será que são muito diferentes de nós? Qual é seu aspecto, como é sua bioquímica, neurobiologia, história, política, ciência, tecnologia, arte, música, religião, filosofia? Talvez um dia consigamos conhecê-los.

Chegamos agora ao nosso próprio quintal, a um ano-luz da Terra. Circundando nosso Sol há um enxame esférico de gigantescas bolas de neve feitas de gelo e rocha e moléculas orgânicas: os núcleos cometários. De vez em quando, uma estrela que passa provoca um pequeno repuxo gravitacional, e uma delas pode, de maneira obsequiosa, adernar para o interior do sistema solar. Lá o Sol a aquece, o gelo é vaporizado e desenvolve-se uma bela cauda cometária.

Estamos nos aproximando dos planetas de nosso sistema, mundos de tamanhos consideráveis, cativos do Sol, obrigados pela gravitação a fazer órbitas quase circulares, aquecidos sobretudo pela luz solar. Plutão, coberto de gelo de metano e acompanhado por sua solitária e imensa lua Caronte,* é iluminado pelo distante Sol, que aparece como não mais que um brilhante ponto de luz num céu negro como o breu. Mundos gigantescos de gás, Netuno, Urano, Saturno — a joia do sistema solar — e Júpiter são todos circundados por luas geladas. Fora da região dos planetas gasosos e de icebergs em órbita, mais para o centro, ficam as províncias quentes e rochosas do interior do sistema solar. Há, por exemplo, o planeta vermelho, Marte, com seus vulcões, seus grandes vales de fendas tectônicas, suas enormes tempestades de areia que o cobrem todo e, quem sabe, a possibilidade de algumas formas simples de vida. Todos os planetas orbitam o Sol, a estrela mais próxima, um inferno de hidrogênio e hélio que provocam reações termonucleares, inundando de luz o sistema solar.

Por fim, depois de todas as nossas andanças, retornamos a nosso minúsculo e frágil mundo azul e branco, perdido num oceano cósmico cuja vastidão vai muito além de nossa mais ousada imaginação. É um mundo entre uma imensidão de outros mundos. Talvez seja importante apenas para nós. A Terra é nosso lar, nosso pai e nossa mãe. Nosso tipo de vida surgiu e evoluiu aqui. A espécie humana está amadurecendo aqui. É neste mundo que desenvolvemos nossa paixão pela exploração do cosmos e é aqui que estamos, com algum sofrimento e sem garantias, elaborando nosso destino.

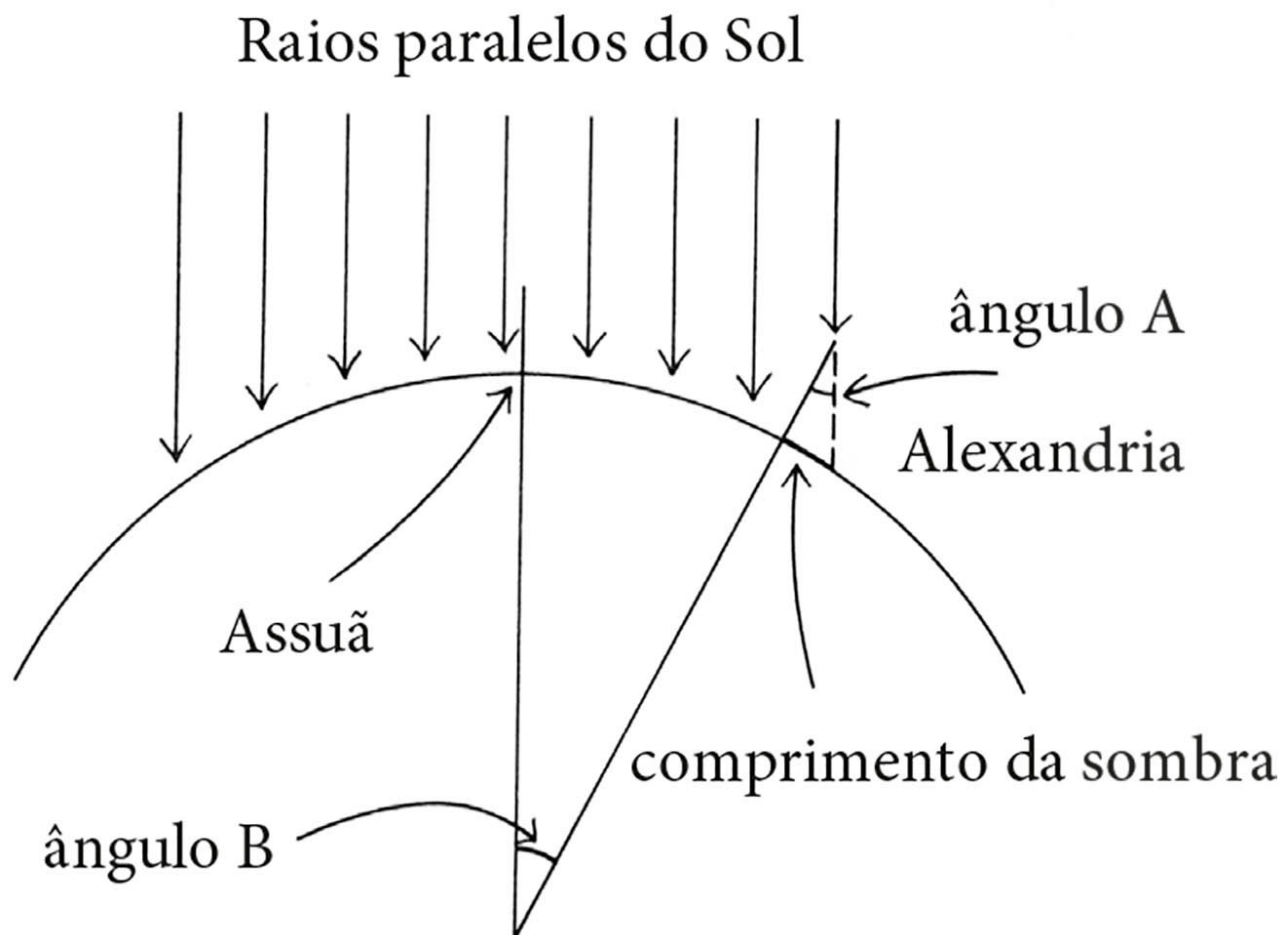
Bem-vindo ao planeta Terra — lugar de céus de nitrogênio azuis, oceanos de águas líquidas, florestas aprazíveis e prados suaves, um mundo positivamente palpitante de vida. Na perspectiva cósmica ele é, como já disse, de uma beleza e raridade impactantes; mas é também, por enquanto, único. Em toda a nossa jornada pelo espaço e pelo tempo ele é, até agora, o único mundo no qual sabemos com certeza que a substância do cosmos se tornou viva e consciente. Deve haver muitos mundos espalhados pelo espaço, mas nossa busca por eles começa aqui, com a sabedoria acumulada dos homens e das mulheres de nossa espécie, armazenada a duras penas por mais de 1 milhão de anos. Temos o privilégio de viver em meio a pessoas brilhantes e apaixonadamente inquisitivas, e numa época na qual a busca do conhecimento costuma ser recompensada. Seres humanos, nascidos, em última instância, das estrelas e agora, por um momento, habitando um mundo chamado Terra, começaram sua longa viagem para casa.

A descoberta de que a Terra é um mundo *pequeno* foi feita, assim como muitas descobertas humanas importantes, no antigo Oriente Próximo, numa época que alguns seres humanos chamam

de século III a.C., na grande metrópole daquele tempo, a cidade egípcia de Alexandria. Ali vivia um homem chamado Eratóstenes. Um de seus contemporâneos, invejoso, o chamava de “Beta”, a segunda letra do alfabeto grego, porque, dizia, Eratóstenes era o segundo melhor do mundo em tudo. Mas parece ser evidente que em quase tudo Eratóstenes era “Alfa”. Era astrônomo, historiador, geógrafo, filósofo, poeta, crítico teatral e matemático. Os títulos dos livros que escreveu vão de *Astronomia* a *Sobre libertar-se da dor*. Ele foi também o diretor da grande Biblioteca de Alexandria, onde certo dia leu num livro de papiro que no posto da fronteira meridional, em Assuã, próximo da primeira catarata do Nilo, ao meio-dia de 21 de junho, bastões enfiados em posição vertical no solo não projetavam sombra. No solstício de verão, o dia mais longo do ano, à medida que a manhã avançava, as sombras das colunas do templo iam ficando mais curtas. Ao meio-dia elas tinham desaparecido. Nesse momento se poderia ver o reflexo do Sol na água no fundo de um poço. O Sol se encontrava diretamente no topo do céu.

Era uma observação que outra pessoa poderia facilmente ter ignorado. Bastões, sombras, reflexos em poços, a posição do Sol — que importância poderiam ter essas simples questões cotidianas? Mas Eratóstenes era um cientista, e suas reflexões sobre esses assuntos banais mudaram o mundo; de certa forma, elas fizeram o mundo. Eratóstenes teve a presença de espírito de realizar um experimento, observar se, em Alexandria, bastões verticais projetavam sombra ao meio-dia de 21 de junho. E descobriu que sim.

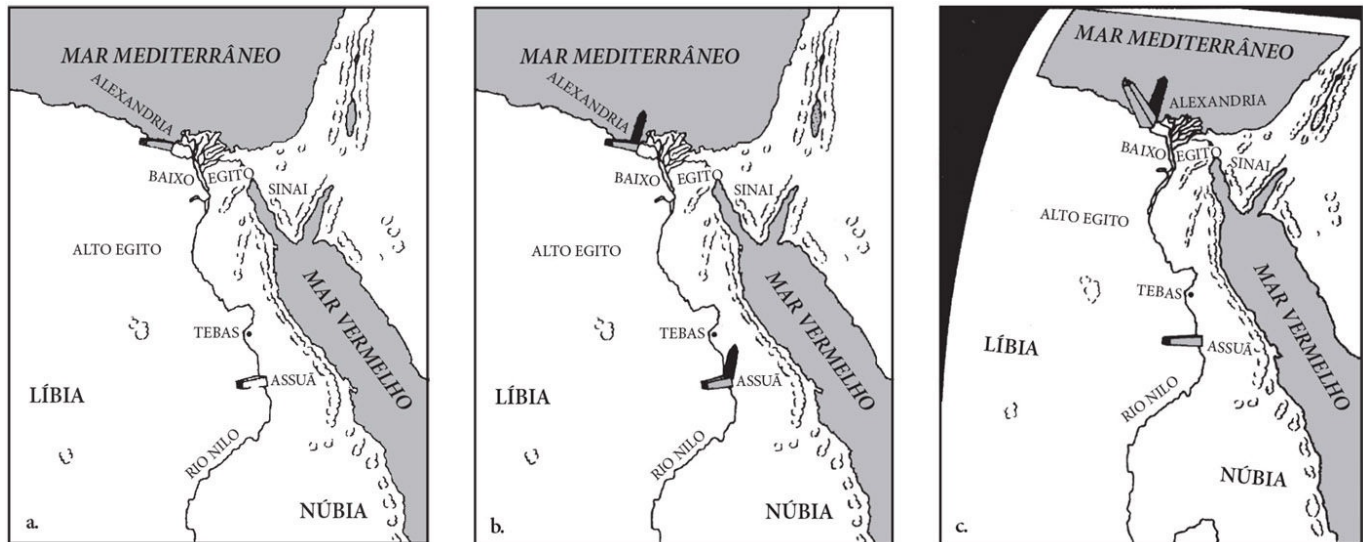
Eratóstenes se perguntou como, no mesmo momento, um bastão em Assuã não projetava sombra e um bastão em Alexandria, bem longe ao norte, projetava uma sombra tão comprida. Considere um mapa do Antigo Egito, com dois bastões verticais, um enfiado em Alexandria, o outro em Assuã. Suponha que, em determinado momento, cada um dos bastões não projeta sombra. Isso é muito fácil de entender — contanto que a Terra seja plana. O Sol estaria então diretamente sobre nossas cabeças. Se os dois bastões projetassem sombras de comprimento igual, isso também faria sentido em se tratando de uma Terra plana: os raios do Sol teriam o mesmo ângulo de inclinação em relação aos dois bastões. Mas como era possível que no mesmo instante não houvesse sombra em Assuã e houvesse uma sombra substancial em Alexandria?

A única resposta possível, ele concluiu, era que a superfície da Terra era curva. Não só isso: quanto maior a curvatura, maior seria a diferença entre os comprimentos das sombras. O Sol está a uma distância tão grande que se pode considerar que seus raios são paralelos quando atingem a Terra. Bastões cravados formando ângulos diferentes com os raios do Sol projetam sombras de comprimentos diferentes. Pela diferença observada entre os comprimentos das sombras, a distância angular entre Alexandria e Assuã, ao longo da superfície da Terra, deveria ser de sete graus. Isto é, imaginando-se que a linha de cada bastão enfiado no solo se prolongue até se encontrarem no centro da Terra, elas formariam um ângulo de sete graus. Sete graus correspondem mais ou menos à quinquagésima parte dos 360 graus da circunferência total da Terra. Eratóstenes sabia que a distância entre Alexandria e Assuã era de cerca de oitocentos quilômetros, porque tinha contratado um homem para medi-la. Cinquenta vezes oitocentos quilômetros são 40 mil quilômetros: assim, essa devia ser a medida da circunferência terrestre.

O ângulo A pode ser medido a partir do comprimento da sombra do bastão, em Alexandria. Mas de uma simples regra da geometria ("quando duas linhas paralelas são cortadas por uma terceira linha, os ângulos alternos internos que elas formam são iguais"), tem-se que os ângulos A e B são iguais. Assim, medindo o comprimento da sombra em Alexandria, Eratóstenes concluiu que a distância angular entre Assuã e Alexandria, na circunferência terrestre, era A = B = 7 graus.

E essa resposta está correta. Os únicos instrumentos de Eratóstenes foram bastões, olhos, pés e cérebros, mais um gosto por experimentos. Usando-os, ele deduziu a circunferência da Terra com uma margem de erro de apenas uns poucos por cento, uma realização notável para a época, 2200 anos atrás. Foi a primeira pessoa a medir com precisão o tamanho do planeta.

O mundo mediterrâneo naquela época era famoso pela navegação marítima. Alexandria era o maior porto do globo. Uma vez sabendo que a Terra era uma esfera com um diâmetro modesto, você não ficaria tentado a realizar viagens exploratórias em busca de terras desconhecidas, talvez até navegar em torno do planeta? Quatrocentos anos antes de Eratóstenes, uma frota fenícia a serviço do faraó egípcio Neco tinha circum-navegado a África. Zarpara, talvez com frágeis embarcações abertas, do mar Vermelho, descendo a costa leste da África e depois contornando-a, pelo Atlântico, e retornando pelo Mediterrâneo. Essa jornada épica levou três anos, mais ou menos o tempo que a moderna espaçonave *Voyager* leva para voar da Terra até Saturno.

Após a descoberta de Eratóstenes, corajosos e audazes marinheiros tentaram realizar grandes viagens. Seus navios eram minúsculos. Só dispunham de instrumentos de navegação rudimentares.

Para seu posicionamento, faziam estimativas usando a direção e a distância percorridas e acompanhavam a linha da costa até tão longe quanto podiam. Num oceano desconhecido eram capazes de determinar a latitude em que se encontravam, mas não a longitude, observando, noite após noite, a posição das constelações em relação ao horizonte. As constelações mais conhecidas devem ter lhes sido reconfortantes no meio de um oceano ainda inexplorado. As estrelas são amigas dos exploradores, já naquela época em suas embarcações no mar da Terra, e agora nas naves espaciais no céu. Depois de Eratóstenes alguns devem ter tentado, mas ninguém conseguiu, até Fernão de Magalhães, circum-navegar a Terra. Quantas histórias de ousadia e de aventura devem ter sido então contadas, quando marinheiros e navegadores, homens do mundo, apostavam suas vidas confiando na matemática de um cientista de Alexandria?

À esquerda: Considerando um mapa, ou seja, uma projeção plana do Antigo Egito, quando o Sol está diretamente na vertical, um obelisco não projetará sombra nem em Alexandria nem em Assuã. Ao centro: Quando o Sol não está diretamente na vertical, projetam-se sombras de comprimento igual em Alexandria e em Assuã. À direita: Mas, quando o mapa representa uma superfície curva, e não plana, o Sol pode estar na vertical em Assuã e não em Alexandria; então, não se projeta sombra em Assuã, enquanto uma sombra pronunciada é projetada em Alexandria.

No tempo de Eratóstenes construíam-se globos que retratavam a Terra vista do espaço; eram corretos na representação do muito explorado Mediterrâneo, mas iam ficando cada vez mais inexatos quanto mais se afastavam de casa. Nosso conhecimento atual do cosmos também apresenta essa incômoda porém inevitável característica. No século I, Estrabão, geógrafo de Alexandria, escreveu:

> Os que retornaram de uma tentativa de circum-navegar a Terra não disseram que foram impedidos disso pela contraposição de um continente, pois o mar continuava a estar todo aberto, e sim por ter faltado determinação e por escassez de provisões [...]. Eratóstenes diz que se a extensão do oceano Atlântico não fosse um obstáculo, poderíamos com facilidade passar, por mar, da Ibéria à Índia [...]. É bem possível que na zona temperada haja uma ou duas terras habitáveis [...]. Na verdade, se [essa outra parte do mundo] for habitada, não o será por homens como os que existem em nossas partes, e teremos de considerá-la um outro mundo habitado.

Os homens começavam a se aventurar, em quase todas as acepções pertinentes, em outros mundos.

A subsequente exploração da Terra foi um empreendimento em nível mundial, incluindo viagens

de e para a China e a Polinésia. O ponto culminante foi, é claro, o descobrimento da América por Cristóvão Colombo e as jornadas dos séculos seguintes, que completaram a exploração geográfica da Terra. A primeira viagem de Colombo tem uma relação das mais diretas com os cálculos de Eratóstenes. Colombo estava fascinado com o que chamou de “a Empresa das Índias”, um projeto para chegar ao Japão, à China e à Índia não contornando a costa africana e rumando para leste, e sim mergulhando com coragem no desconhecido oceano ocidental, ou, como tinha dito Eratóstenes com impressionante presciência, “passar, pelo mar, da Ibéria à Índia”.

Colombo tinha sido um vendedor ambulante de mapas antigos e leitor assíduo de livros de e sobre geógrafos da Antiguidade, entre eles Eratóstenes, Estrabão e Ptolomeu. Mas para que a Empresa das Índias funcionasse, para que navios e tripulações sobrevivessem à longa viagem, a Terra teria de ser menor do que Eratóstenes tinha dito. Colombo, então, trapaceou em seus cálculos, como observou de maneira correta o grupo da Universidade de Salamanca que examinou o projeto. Ele usou a menor circunferência da Terra possível e a máxima extensão possível da Ásia para o leste que encontrou nos livros, e ainda as exagerou. Se as Américas não estivessem no caminho, as expedições de Colombo teriam sido um fracasso total.

Agora a Terra está explorada por completo. Não há mais promessas de novos continentes ou de terras perdidas. Porém a tecnologia que nos permitiu explorar e habitar suas mais remotas regiões permite-nos agora sair de nosso planeta, nos aventurar no espaço, explorar outros mundos. Ao sair da Terra, podemos agora contemplá-la de cima, ver seu sólido formato esférico de dimensões eratostenianas e os contornos de seus continentes, confirmando que muitos dos antigos cartógrafos eram de uma competência notável. Imagine quanto prazer essa vista teria proporcionado a Eratóstenes e outros geógrafos de Alexandria…

Foi em Alexandria, durante os seiscentos anos que começaram por volta de 300 a.C., que os seres humanos, em certo e importante sentido, começaram a aventura intelectual que nos trouxe às margens do espaço. No entanto, do aspecto e do ambiente daquela gloriosa cidade de mármore nada mais resta. A opressão e o medo do conhecimento obliteraram quase toda a memória da antiga Alexandria. Sua população era de uma diversidade maravilhosa. Soldados macedônios, depois romanos, sacerdotes egípcios, aristocratas gregos, marinheiros fenícios, mercadores judeus, visitantes da Índia e da África subsaariana — todos, exceto a vasta população de escravos — viveram juntos em harmonia e respeito mútuo durante a maior parte do período de grandeza de Alexandria.

A cidade foi fundada por Alexandre, o Grande, e construída por seu ex-guarda-costas. Alexandre estimulava o respeito por culturas estrangeiras e uma mente aberta na busca do conhecimento. Segundo a tradição — e pouco importa se isso de fato aconteceu ou não —, ele desceu ao fundo do mar Vermelho no primeiro sino de mergulho do mundo. Incentivava seus generais e soldados a casar com mulheres persas e indianas. Respeitava os deuses de outras nações. Coletou formas de vida exóticas, entre as quais um elefante para Aristóteles, seu professor. Sua cidade foi construída numa escala pródiga para ser o centro mundial do comércio, da cultura e do conhecimento. Foi agraciada com largas avenidas com trinta metros de largura, arquitetura e estatuária elegantes, o túmulo monumental de Alexandre e um enorme farol na ilha de Faros, uma das sete maravilhas do mundo antigo.

Mas o grande prodígio de Alexandria era a sua biblioteca e o museu (literalmente, uma instituição dedicada às especialidades das nove Musas) a ela associado. Dessa lendária biblioteca, a maior parte do que hoje sobrevive é seu anexo, o porão úmido e esquecido do Serapeu, que tinha sido um templo e depois fora reconsagrado ao conhecimento. Algumas estantes desmoronadas são, talvez, seu único remanescente físico. Mas esse lugar foi uma vez o cérebro e a glória da maior cidade do mundo, o primeiro real instituto de pesquisa na história do planeta. Os sábios da biblioteca estudavam todo o cosmos. *Cosmos* é uma palavra grega que expressa a ordem do universo. É, de certa forma, o oposto de *caos*. Implica a profunda interconexão entre todas as coisas. Transmite uma sensação de reverência e pasmo ante o modo intricado e sutil com que o universo se mantém unido e ordenado. Havia ali uma comunidade de eruditos, exploradores físicos, literatura, medicina, astronomia, geografia, filosofia, matemática, biologia e engenharia. Ciência e conhecimento tinham chegado a sua maioridade. Gênios floresciam ali. A Biblioteca de Alexandria foi o local onde seres humanos colheram pela primeira vez, de maneira séria e sistemática, o conhecimento do mundo.

Além de Eratóstenes, havia o astrônomo Hiparco, que mapeou as constelações e fez uma estimativa da intensidade do brilho das estrelas; Euclides, que sistematizou com brilhantismo a geometria e que disse a seu rei, quando se debatia com um difícil problema matemático: "Não existe uma estrada real para a geometria"; Dionísio da Trácia, o homem que definiu as categorias gramaticais e fez para o estudo da língua o que Euclides fez para a geometria; Herófilo, o fisiologista que estabeleceu de maneira sólida que é o cérebro, e não o coração, a morada da inteligência; Heron de Alexandria, inventor de engrenagens e de motores a vapor, e autor de *Automata*, o primeiro livro sobre robôs; Apolônio de Perga, o matemático que demonstrou os formatos das seções cônicas[2] — elipse, parábola e hipérbole —, curvas que, hoje sabemos, formam as órbitas de planetas, cometas e estrelas; Arquimedes, o maior gênio da mecânica até Leonardo da Vinci; e o astrônomo e geógrafo Ptolomeu, que compilou muito do que é hoje a pseudociência da astrologia: seu universo geocêntrico sustentou-se durante 1500 anos, um lembrete de que a capacidade intelectual não é uma garantia de que não se estará de todo errado. E entre esses grandes homens havia uma grande mulher, Hipátia, matemática e astrônoma, o último luminar da biblioteca, cujo martírio está ligado à destruição da biblioteca sete séculos após sua fundação, uma história à qual ainda vamos retornar.

Os reis gregos do Egito que sucederam a Alexandre eram sérios no que tange ao estudo. Durante séculos eles apoiaram a pesquisa e mantiveram na biblioteca um ambiente de trabalho para as melhores cabeças da época. Ela continha dez grandes salas para pesquisa, cada uma das quais dedicada a um assunto; fontes e colunatas; jardins botânicos; um jardim zoológico; salas para dissecação; um observatório; e um salão de jantar onde, nas horas de lazer, realizavam-se debates cruciais sobre ideias.

O coração da biblioteca era sua coleção de livros. Seus organizadores passavam um pente-fino em todas as culturas e línguas do mundo. Enviavam agentes ao estrangeiro com a missão de comprar bibliotecas. Navios comerciais atracados em Alexandria eram revistados pela polícia — não à procura de contrabando, mas de livros. Os rolos eram levados por empréstimo, copiados e depois

devolvidos a seus donos. É difícil fazer uma estimativa, mas parece provável que a biblioteca contivesse meio milhão de livros, cada um deles um manuscrito num rolo de papiro. O que aconteceu com todos esses livros? A civilização clássica que os criara se desintegrou e a própria biblioteca foi destruída de maneira deliberada. Apenas uma pequena parte sobreviveu, alguns fragmentos pateticamente esparsos. E como são sedutores esses pedacinhos de papiro! Sabemos, por exemplo, que havia nas estantes da biblioteca um livro do astrônomo Aristarco de Samos, que alegava que a Terra é um dos planetas e que, assim como eles, orbita o Sol, e que as estrelas estão imensamente distantes. Cada uma dessas conclusões é correta, mas tivemos de esperar quase 2 mil anos para serem redescobertas. Se multiplicarmos por 100 mil o sentido da perda dessa obra de Aristarco, estaremos começando a apreciar a grandeza da conquista da civilização clássica e a tragédia de sua destruição.

Já ultrapassamos de muito a ciência que era conhecida no mundo antigo. Mas há lacunas irreparáveis em nosso conhecimento histórico. Imagine quantos mistérios sobre nosso passado poderiam ser resolvidos com um cartão de acesso aos livros da Biblioteca de Alexandria. Sabemos que havia uma história do mundo em três volumes, hoje perdida, de um sacerdote babilônio chamado Beroso. O primeiro volume abrange o período que vai da Criação ao Dilúvio, que durou 432 mil anos, ou seja, cerca de cem vezes mais do que a cronologia do Antigo Testamento. Eu me pergunto o que aconteceu durante esse período.

Os antigos sabiam que o mundo é muito antigo. Eles tentavam enxergar o passado distante. Sabemos agora que o cosmos é muito mais antigo do que eles jamais imaginaram. Temos examinado o universo no espaço e vimos que estamos vivendo num grão de poeira que circunda uma prosaica estrela no mais remoto recôndito de uma galáxia obscura. E se somos uma manchinha na imensidão do espaço, também ocupamos apenas um instante numa duração de eras. Sabemos agora que nosso universo — ou ao menos sua encarnação mais recente — tem cerca de 15 ou 20 bilhões de anos.** É o tempo decorrido desde um notável evento explosivo chamado Big Bang. No início deste universo não havia galáxias, estrelas ou planetas, nem vida ou civilizações, apenas uma bola de fogo uniforme, radiante, enchendo todo o espaço. A passagem do caos do Big Bang para o cosmos que estamos começando a conhecer é a mais espantosa transformação de matéria e energia que tivemos o privilégio de vislumbrar. E até que encontremos mais seres inteligentes em outro lugar, somos nós mesmos a mais espetacular de todas as transformações — descendentes distantes do Big Bang, empenhados em entender e em transformar ainda mais o cosmos do qual nos originamos.

---

* Plutão hoje é considerado um planeta-anão, como muitos outros em nosso sistema solar. Além disso, são conhecidos quatro outros satélites naturais de Plutão, além da supracitada Caronte. (N. R. T.)

** As evidências atuais apontam que o universo tenha cerca de 14 bilhões de anos. (N. R. T.)

2. Uma voz na fuga cósmica

É provável que todos os seres orgânicos que jamais viveram nesta Terra descendam de uma única forma primordial, que recebeu o primeiro alento de vida […]. Há grandeza nessa visão da vida […] segundo a qual, enquanto este planeta continuava seu ciclo de acordo com a lei fixa da gravitação, de um início tão simples, infindáveis formas, das mais belas e maravilhosas, evoluíram e continuam a evoluir.

Charles Darwin, *A origem das espécies*, 1859

Durante toda a minha vida, sempre me perguntei sobre a possibilidade de haver vida em algum outro lugar. Que aspecto ela teria? De que seria feita? Todas as coisas vivas em nosso planeta são constituídas de moléculas orgânicas, complexas arquiteturas microscópicas nas quais o átomo de carbono desempenha um papel central. Houve um tempo, antes de existir vida, no qual a Terra era árida e desolada. Nosso mundo hoje é transbordante de vida. Como isso aconteceu? Como, na ausência de vida, foram criadas moléculas baseadas no carbono? Como surgiu a primeira coisa viva? Como a vida evoluiu para produzir seres tão elaborados e complexos como nós, capazes de explorar o mistério de nossas próprias origens?

E nos inumeráveis outros planetas que podem estar circulando outros sóis, será que existe vida também? Será que a vida extraterrestre, se é que existe, tem como base as mesmas moléculas orgânicas, como a vida na Terra? Será que os seres de outros mundos se parecem com os do nosso? Ou serão incrivelmente diferentes — outras adaptações para outros contextos ambientais? O que mais é possível? A natureza da vida na Terra e a busca por vida em outro lugar são lados da mesma questão — a busca por saber quem somos nós.

Na grande escuridão existente entre as estrelas há nuvens de gás, poeira e matéria orgânica. Dezenas de tipos diferentes de moléculas orgânicas têm sido lá encontradas por radiotelescópios. A abundância dessas moléculas sugere que o material da vida esteja em toda parte. Talvez a origem e a evolução da vida sejam, dado tempo suficiente, uma inevitabilidade cósmica. Em alguns bilhões de planetas da Via Láctea pode nunca ter surgido vida. Em outros, ela pode surgir e se extinguir, ou nunca ter evoluído além de suas formas mais simples. E numa pequena fração desses mundos podem ter se desenvolvido inteligências e civilizações mais avançadas do que a nossa.

De vez em quando alguém comenta a afortunada coincidência de ser a Terra tão perfeitamente apropriada para a vida — temperaturas amenas, água líquida, oxigênio na atmosfera etc. Mas isso é, ao menos em parte, confundir causa e efeito. Nós, terráqueos, somos muitíssimo bem adaptados ao meio ambiente da Terra porque surgimos e crescemos aqui. As formas primitivas de vida que não se

adaptaram bem morreram. Somos descendentes de organismos bem-sucedidos. Organismos que se desenvolverem num mundo bem diferente sem dúvida vão enaltecê-lo também.

Toda a vida na Terra está estreitamente inter-relacionada. Temos uma química orgânica comum e uma herança evolucionária comum. Em consequência disso, nossos biólogos sofrem de uma profunda limitação. Eles estudam um único tipo de biologia, um tema isolado na música da vida. Será essa vaga e débil melodia a única voz em milhares de anos-luz? Ou haverá uma espécie de fuga cósmica, com temas e contrapontos, dissonâncias e harmonias, 1 bilhão de vozes diferentes tocando a música da vida da Galáxia?

Permita-me contar uma história sobre uma pequena frase da música da vida na Terra. No ano de 1185, o imperador do Japão era um menino de sete anos chamado Antoku. Ele era o líder nominal de um clã de samurais chamado Heike, que estava envolvido numa guerra longa e sangrenta contra outro clã samurai, os Genji. Cada clã afirmava ser o portador de um direito ancestral e superior ao trono imperial. Seu embate naval decisivo, com o imperador a bordo de um navio, ocorreu em Danno-ura, no mar Interior do Japão, em 24 de abril de 1185. Os Heike foram superados em número e em manobras de guerra. Muitos foram mortos. Os sobreviventes, em grandes quantidades, atiraram-se no mar e se afogaram. A sra. Nii, avó do imperador, decidiu que ela e Antoku não seriam capturados pelo inimigo. O que aconteceu em seguida é relatado em *O conto dos Heike*:

> O imperador completou sete anos naquele ano, mas aparentava ser muito mais velho. Era tão encantador que dele parecia emanar um brilho radiante, e seus longos cabelos negros pendiam soltos em suas costas. Com uma expressão de surpresa e ansiedade, ele perguntou à sra. Nii: "Para onde você está me levando?".
>
> Ela voltou-se para o jovem soberano, as lágrimas rolando pela face, e [...] prendeu os longos cabelos dele dentro de seu manto cinzento. Cegado pelas próprias lágrimas, o menino soberano juntou as lindas e pequeninas mãos. Virou-se primeiro para o leste, para se despedir do deus de Ise, e depois para oeste, para recitar o Nembutsu [uma prece ao Buda Amida]. A sra. Nii o tomou nos braços e com as palavras "Nosso capitólio fica nas profundezas do oceano" ela afinal mergulhou com ele para o fundo das ondas.

Toda a frota de combate dos Heike foi destruída. Sobreviveram apenas 43 mulheres. Todas essas damas de honra da corte imperial foram obrigadas a vender flores e a conceder outros favores aos pescadores que estavam nas proximidades da cena de batalha. Os Heike quase desapareceram da história. Mas um grupo de ex-damas da corte, agora na plebe, e seus filhos com os pescadores organizaram um festival para comemorar a batalha. Ele se realiza todo ano, desde então, no dia 24 de abril. Pescadores descendentes dos Heike vestem roupas de cânhamo e chapéus pretos e vão até o santuário de Akama, onde fica o mausoléu do imperador afogado. Lá assistem a uma peça que representa os acontecimentos que se seguiram à Batalha do Danno-ura. No decorrer de séculos, pessoas imaginavam que eram capazes de vislumbrar fantasmagóricos exércitos de samurais tentando em vão baldear as águas do mar, para limpá-la do sangue, da derrota e da humilhação.

Dizem os pescadores que os samurais Heike ainda vagueiam no fundo do mar Interior — na forma de caranguejos. Encontram-se lá caranguejos com marcas curiosas nas costas, em padrões e endentações que, de maneira perturbadora, lembram o rosto de um samurai. Quando se pegam esses caranguejos, eles não são comidos, e sim devolvidos ao mar, em comemoração aos dolorosos fatos ocorridos em Danno-ura.

Essa lenda suscita um lindo problema. Como pode haver um rosto de samurai entalhado na

carapaça de um caranguejo? A resposta, ao que parece, é que foram seres humanos que criaram o rosto. Os padrões na concha de caranguejo são herdados. Mas entre os caranguejos, assim como entre as pessoas, há muitas linhas hereditárias diferentes. Suponha que, por mero acaso, entre os ancestrais distantes desse caranguejo surgiu um com um padrão que lembrava, ainda que de forma vaga, um rosto humano. Mesmo antes da batalha de Danno-ura pode ser que os pescadores relutassem em comer esse caranguejo. Ao devolvê-lo ao mar, estavam pondo em ação um processo evolucionário: se você for um caranguejo com uma carapaça normal, os seres humanos irão comê-lo. Sua linhagem terá poucos descendentes. Se sua carapaça tiver uma leve semelhança com um rosto, eles o jogarão de volta no mar. Você terá mais descendentes. Os caranguejos fizeram um substancial investimento visando aos padrões de suas carapaças. Com o passar das gerações, tanto de caranguejos quanto de pescadores, os caranguejos com padrões que mais se pareciam com um rosto de samurai eram os que sobreviviam prioritariamente, até que, mais tarde, o que se produzia em suas carapaças não era só uma face humana, nem só japonesa, e sim o rosto de um feroz e carrancudo samurai. Nada disso tem a ver com o que os caranguejos *querem*. A seleção é imposta de fora. Quanto mais você se parece com um samurai, maiores as probabilidades de sobrevivência. No fim, haverá uma grande quantidade de caranguejos samurais.

Esse processo se chama seleção artificial. No caso do caranguejo Heike, ele foi acionado de modo mais ou menos inconsciente pelos pescadores, e com certeza sem ter sido seriamente considerado pelos caranguejos. Foram os seres humanos que, deliberadamente, selecionaram quais plantas e animais deveriam viver e quais deveriam morrer, durante milhares de anos. Desde a mais tenra infância estamos cercados de animais de fazenda e domésticos, frutas, árvores e vegetais. De onde vieram? Será que uma vez tinham tido uma vida livre e selvagem, e depois foram induzidos a adotar uma vida menos rigorosa na fazenda? Não, a verdade é bem outra. Eles foram, a maioria deles, escolhidos por nós.

Há 10 mil anos, não havia vacas leiteiras, cães de caça ou espigas de milho grandes. Quando domesticamos os ancestrais dessa planta e desses animais — às vezes eram criaturas com aspecto bem diferente do atual —, passamos a controlar sua reprodução. Asseguramo-nos de que certas variedades, que tinham propriedades que consideramos convenientes, tivessem preferência. Quando quisemos ter um cão que nos ajudasse a cuidar de ovelhas, selecionamos raças que fossem inteligentes, obedientes e que tivessem algum talento preexistente para guardar rebanhos, características úteis em animais que caçam em grupo. As enormes e distendidas tetas do gado leiteiro resultam do interesse humano pelo leite e pelo queijo. Nosso milho foi sendo cruzado durante 10 mil gerações para ser mais saboroso e nutritivo do que seus mirrados ancestrais; na verdade, ele mudou tanto que nem é capaz de se reproduzir sem a intervenção humana.

A essência da seleção artificial — seja no caso de um caranguejo Heike, de um cão, uma vaca ou uma espiga de milho — é esta: muitos traços físicos e comportamentais de plantas e animais são herdados. Eles transmitem suas características genéticas. Os seres humanos, por essa ou aquela razão, estimulam a reprodução de algumas variedades e desestimulam a de outras. A variedade selecionada como preferencial se reproduz; mais tarde ela será abundante; a variedade selecionada como não preferencial passará a ser rara e talvez extinta.

Mas se os seres humanos podem criar novas variedades de plantas e animais, a natureza não poderia fazer isso também? Esse processo se chama seleção natural. O fato de que a vida mudou fundamentalmente ao longo dos éons fica claro a partir das alterações que fizemos nos animais e nos vegetais durante o curto período de existência do homem na Terra e das evidências encontradas em fósseis. O registro fóssil nos fala, de maneira inquestionável, de criaturas que uma vez existiram em grande número e que desapareceram por completo.[1] As espécies que se tornaram extintas na história são muito mais numerosas do que as hoje existentes; elas são os experimentos exterminados da evolução.

As mudanças genéticas induzidas pela domesticação ocorreram com muita rapidez. O coelho não foi domesticado até o início da Idade Média (foi criado por monges franceses na suposição de que os coelhinhos recém-nascidos eram peixes e, portanto, excluídos da proibição de comer carne em certos dias do calendário da Igreja); o café é do século XV; a beterraba-açucareira, do século XIX; o *mink* ainda está nos primeiros estágios da domesticação. Em menos de 10 mil anos a domesticação fez aumentar o peso da lã de cada ovelha, de um quilo de pelos ásperos a dez ou vinte quilos de um pelo uniforme e fino; ou o volume de leite de vaca durante um período de lactação de algumas centenas para 1 milhão de centímetros cúbicos. Se a seleção artificial é capaz de produzir mudanças tão drásticas em tão curto período, do que não seria capaz a seleção natural, durante bilhões de anos? A resposta é toda a beleza e diversidade do mundo biológico. A evolução é um fato, não uma teoria.

O fato de que o mecanismo da evolução é a seleção natural foi a grande descoberta associada aos nomes de Charles Darwin e Alfred Russel Wallace. Mais de um século atrás, eles afirmaram que a natureza é prolífica, que nascem muito mais animais e plantas do que os que têm possibilidade de sobreviver e que, portanto, o meio ambiente seleciona as variedades que são, por acaso, mais capacitadas para a sobrevivência. Mutações — mudanças repentinas nas características hereditárias — são geneticamente transmitidas.* Elas proveem a matéria-prima da evolução. O meio ambiente seleciona essas poucas mutações que incrementam a sobrevivência, o que resulta numa série de lentas transformações de uma forma de vida para outra, que é a origem de novas espécies.[2]

As palavras de Darwin em *A origem das espécies* foram:

> O homem não produz, com efeito, variabilidade; ele apenas, de maneira não intencional, expõe seres orgânicos a novas condições de vida, e depois a natureza atua sobre essa organização e causa a variabilidade. Mas o homem pode selecionar, e seleciona, as variações que a natureza lhe propicia, e desse modo as acumula como quiser. Ele adapta, assim, animais e plantas para seu próprio benefício ou prazer. Pode fazer isso com método ou de forma inconsciente, preservando os indivíduos que lhe são mais úteis naquele momento, sem qualquer intenção de alterar a linhagem [...]. Não existe nenhuma razão óbvia pela qual os princípios que atuaram com tanta eficiência na domesticação não tenham atuado na natureza [...]. Nascem mais indivíduos do que os que têm possibilidade de sobreviver [...]. A mais ínfima vantagem de um ser, de qualquer idade e em qualquer época, sobre aqueles com quem está competindo, ou uma melhor adaptação às condições físicas do entorno, por mais tênue que seja esse grau de melhora, pode ser o fator de desequilíbrio.

T. H. Huxley, o mais efetivo defensor e popularizador do conceito de evolução no século XIX, escreveu que a publicação de Darwin e Wallace era um

> lampejo de luz, o qual, para um homem que se tinha perdido numa noite escura, revelava de súbito uma estrada que, conduzindo-o ou

não direto para casa, decerto lhe mostra o caminho [...]. Minha reflexão, quando pela primeira vez dominei a ideia central de *A origem das espécies*, foi: "Que grande idiotice não ter pensado nisso!". Suponho que os colegas de Colombo tenham dito a mesma coisa [...]. Os fatos da variabilidade, da luta pela existência, da adaptação às condições reinantes são bastante evidentes, mas nenhum de nós tinha suspeitado que a estrada que leva ao cerne da questão das espécies passa por eles, até que Darwin e Wallace desfizeram a escuridão.

Muita gente ficou escandalizada — há quem ainda esteja — com ambos os conceitos, o da evolução e o da seleção natural. Nossos antepassados contemplavam a elegância da vida na Terra, como as estruturas dos organismos são apropriadas para suas funções, e viam nisso a evidência de um Grande Projetista. O mais simples dos organismos unicelulares é uma máquina muito mais complexa do que o mais sofisticado relógio de bolso. Ainda mais que relógios de bolso não se montam sozinhos espontaneamente, nem evoluem por si mesmos em lentas etapas a partir de, digamos, seus avós relógios. Um relógio implica um fabricante de relógios. Parecia não haver um modo pelo qual átomos e moléculas pudessem de algum jeito se juntar espontaneamente para criar organismos com tão espantosa complexidade e de tão sutil funcionamento como os que adornam quaisquer das regiões da Terra. Que cada coisa viva era concebida de maneira especial, que uma espécie não se tornava outra eram noções perfeitamente consistentes com aquilo que nossos ancestrais, com seus limitados registros históricos, conheciam sobre a vida. A ideia de que cada organismo era meticulosamente construído pelo Grande Projetista dava à natureza um significado e uma ordem, e aos seres humanos uma importância que ainda reivindicamos. Um Projetista é uma explicação natural, atraente e totalmente humana para o mundo biológico. Porém, como demonstraram Darwin e Wallace, há outra maneira, igualmente atraente, igualmente humana, e muito mais convincente: a seleção natural, que faz com que a música da vida seja mais bela, à medida que passam os éons.

A evidência dos fósseis poderia ser consistente com a ideia de um Grande Projetista; talvez algumas espécies sejam destruídas quando o Grande Projetista fica insatisfeito com elas e tenta novos experimentos com um design aprimorado. Mas essa ideia é um pouco desconcertante. Cada planta e cada animal têm uma feitura primorosa; um projetista de suprema competência não seria capaz de criar a variedade tencionada desde o início? O registro fóssil implica tentativa e erro, uma inaptidão para antecipar o futuro, características inconsistentes com as de um Grande Projetista eficiente (mas não com as de um Projetista de temperamento mais remoto e indireto).

Quando eu era estudante universitário, no início da década de 1950, tive a sorte de trabalhar no laboratório de H. J. Muller, um grande geneticista, o homem que descobriu que a radiação produz mutações. Muller foi quem pela primeira vez me chamou a atenção para o fato de o caranguejo Heike ser um exemplo da seleção artificial. Para estudar o lado prático da genética, passei muitos meses trabalhando com mosquinhas-das-frutas, as *Drosophila melanogaster* (que significa "amantes de orvalho de corpo negro") — pequenas criaturas benignas com duas asas e grandes olhos. Nós as mantínhamos em garrafas de leite de meio litro. Cruzávamos duas variedades, para ver se novas formas surgiriam da recombinação dos genes parentais, e de mutações naturais e induzidas. As fêmeas depositavam os ovos numa espécie de melaço que os técnicos inseriam nas garrafas; as garrafas eram tampadas e esperávamos duas semanas até que os ovos fertilizados virassem larvas, as

larvas pupas, e das pupas emergissem novas mosquinhas-das-frutas adultas.

Um dia eu estava examinando por um microscópio binocular de baixa potência um grupo de novas *Drosophila* adultas recém-chegadas que havia imobilizado com um pouco de éter, ocupado em separar as diferentes variedades com uma escovinha de pelo de camelo. Para meu espanto, deparei com algo muito diferente: não uma pequena variação, como olhos vermelhos em vez de brancos, ou cerdas no pescoço em vez de um pescoço sem cerdas. Esse era outro tipo de criatura, funcionando muito bem, com asas muito mais proeminentes e uma longa e plumosa antena. O destino tinha determinado, concluí, que um exemplo de uma grande mudança evolucionária em uma única geração, exatamente o que Muller dissera que jamais poderia ocorrer, acontecesse em meu próprio laboratório. E era minha a infeliz tarefa de explicar isso a ele.

Com o coração pesado, bati à porta de seu gabinete. "Entre", veio o grito abafado. Entrei e vi que o aposento estava escuro, exceto por uma única e pequena lâmpada que iluminava a platina do microscópio no qual ele trabalhava. Nesse ambiente sombrio, tropecei em minha explicação. Eu havia descoberto um tipo muito diferente de mosca. Tinha certeza de que ela saíra de uma das pupas no melaço. Não queria incomodar Muller, porém… "Parece mais um lepidóptero do que um díptero?", perguntou ele, o rosto iluminado de baixo. Eu não sabia a que estava se referindo, e ele teve de explicar: "Tem asas grandes? Tem uma antena plumosa?". Desanimado, assenti.

Muller acendeu a luz do teto e sorriu com afabilidade. Era uma história antiga. Havia um tipo de mariposa que tinha se adaptado aos laboratórios genéticos de *Drosophila*. Não se parecia nem um pouco com uma mosquinha-das-frutas e não tinha nada a ver com mosquinhas-das-frutas. O que ela queria era o melaço das mosquinhas-das-frutas. No breve lapso de tempo entre os técnicos destamparem e tamparem a garrafa de leite — para, por exemplo, adicionar mosquinhas-das-frutas —, a mariposa mãe fazia um bombardeio de mergulho, largando, de passagem, seus ovos no saboroso melaço. Eu não tinha descoberto uma macromutação. Simplesmente tinha tropeçado em outra notável adaptação na natureza, produto de micromutação e seleção natural.

Os segredos da evolução são a morte e o tempo — a morte de enorme número de formas de vida que se adaptaram de maneira imperfeita ao meio ambiente; e tempo para uma longa sucessão de pequenas mutações que, *por acaso*, tiveram sucesso na adaptação, tempo para a lenta acumulação de modelos de mutações favoráveis. Parte da resistência às ideias de Darwin e Wallace deriva de nossa dificuldade em imaginar a passagem de milênios, ainda mais quando se trata de éons. O que significam 70 milhões de anos para seres que só vivem uma milionésima parte desse tempo? Somos como borboletas que pariam no ar durante um dia e pensam que isso é para sempre.

O que aconteceu aqui na Terra pode ser mais ou menos típico da evolução da vida em muitos mundos; mas em certos detalhes, como a química das proteínas ou a neurologia dos cérebros, a história da vida na Terra talvez seja única em toda a Via Láctea. A Terra foi produto da condensação de gás e poeira interestelar há cerca de 4,6 bilhões de anos. Sabemos de registros fósseis que a origem da vida se deu pouco depois disso, talvez 4 bilhões de anos atrás, nos lagos e oceanos da primitiva Terra. As primeiras coisas vivas não foram tão complexas quanto organismos unicelulares, que já são formas de vida altamente sofisticadas. As primeiras manifestações foram

muito mais modestas. Naqueles dias primordiais, relâmpagos e a luz ultravioleta do Sol estavam quebrando moléculas simples ricas em hidrogênio da atmosfera primitiva e os fragmentos se recombinavam de maneira espontânea em moléculas cada vez mais complexas. Os produtos dessa química primordial se dissolviam nos oceanos, formando uma espécie de sopa orgânica cuja complexidade foi aumentando de forma gradual, até que um dia, talvez por acaso, apareceu uma molécula capaz de fazer cópias rudimentares de si mesma, usando como blocos de construção outras moléculas da sopa. (Voltaremos a esse assunto mais tarde.)

Esse foi o ancestral mais antigo do ácido desoxirribonucleico, o DNA, molécula-mestra da vida na Terra. Ela tem o formato de uma escada retorcida em forma de hélice, os degraus disponíveis em quatro diferentes partes moleculares, que constituem as quatro letras do código genético. Esses degraus, chamados nucleotídeos, sinalizam as instruções hereditárias para a formação de um dado organismo. Cada forma de vida na Terra tem um conjunto diferente de instruções, expressas essencialmente na mesma linguagem. O motivo pelo qual os organismos *são* diferentes é a diferença nas instruções de seu ácido nucleico. Uma mutação é uma mudança num nucleotídeo, que é copiada na próxima geração, com transmissão integral das características genéticas dos reprodutores [*breed true*]. Como as mutações são mudanças *randômicas* de nucleotídeos, a maioria delas é danosa ou letal, pois o código produz enzimas não funcionais. É longa a espera até que uma mutação acerte e faça um organismo funcionar melhor. E mesmo sendo um acontecimento improvável, uma pequena mutação benéfica num nucleotídeo que tem de lado a lado um décimo milionésimo de centímetro faz a evolução avançar.

Quatro bilhões de anos atrás, a Terra era um Jardim do Éden em nível molecular. Ainda não havia predadores. Algumas moléculas se reproduziam de forma ineficiente, competiam por blocos de construção e deixavam cópias rudimentares de si mesmas. Com a reprodução, a mutação e a eliminação seletiva das variedades menos eficientes, a evolução estava a caminho, mesmo em nível molecular. À medida que o tempo passava, as moléculas se reproduziam melhor. Moléculas com funções especializadas às vezes se juntavam, criando uma espécie de coletivo molecular — a primeira célula. Células de plantas têm, hoje, minúsculas fábricas celulares, chamadas cloroplastos, que se encarregam da fotossíntese — a conversão de luz solar, água e dióxido de carbono em carboidratos e oxigênio. As células contidas numa gota de sangue contêm diferentes tipos de fábrica molecular, a mitocôndria, que combina o alimento com o oxigênio para extrair energia útil. Essas fábricas existem hoje nas moléculas de plantas e animais, mas podem ter sido um dia células de vida livre.

Três bilhões de anos atrás, certo número de plantas unicelulares se havia juntado, talvez porque uma mutação tivesse impedido que uma célula se separasse após ter se dividido em duas. Os primeiros organismos multicelulares tinham evoluído. Cada célula de seu corpo é um tipo de comuna, com partes que uma vez haviam sido livres, tendo se juntado para o bem comum. E você é feito de 100 trilhões de células. Somos, cada um de nós, uma multidão.

O sexo parece ter sido inventado cerca de 2 bilhões de anos atrás. Antes disso, novas variedades de indivíduos só poderiam surgir da acumulação de mutações aleatórias — a seleção de mudanças nas instruções genéticas, letra por letra. A evolução deve ter sido desesperadoramente lenta. Com a

invenção do sexo, dois organismos podiam trocar entre si parágrafos, páginas e livros inteiros de seu código de DNA, produzindo novas variedades prontas para o crivo da seleção. Organismos são selecionados para se engajarem no sexo — os que não acham isso interessante rapidamente são extintos. E isso vale não apenas para micróbios de 2 bilhões de anos atrás. Nós, seres humanos, também demonstramos hoje ter uma palpável dedicação a trocas de segmentos de DNA.

Há 1 bilhão de anos, plantas, trabalhando em cooperação, tinham realizado uma assombrosa mudança no meio ambiente da Terra. Plantas verdes geram moléculas de oxigênio. Como os oceanos estavam então cheios de plantas verdes simples, o oxigênio estava se tornando um componente importante da atmosfera terrestre, alterando de maneira irreversível seu caráter original de ser rica em hidrogênio e dando um fim à época da história da Terra na qual o material para a vida consistia em processos não biológicos. Mas o oxigênio tende a fazer com que moléculas orgânicas se fragmentem em pedaços. Apesar de nosso apego a ele, o oxigênio é, na verdade, um veneno para a matéria orgânica não protegida. A transição para uma atmosfera oxidante suscitou uma crise suprema na história da vida, e uma grande quantidade de organismos, incapazes de lidar com o oxigênio, pereceu. Umas poucas formas primitivas, como os bacilos do botulismo e do tétano, só conseguiram sobreviver, mesmo hoje, em ambientes livres de oxigênio. Em termos químicos, o nitrogênio que existe na atmosfera da Terra é muito mais inerte, e portanto mais benigno que o oxigênio. Mas sua sustentação também é biológica. Assim, 99% da atmosfera terrestre é de origem biológica. O céu é feito de vida.

Na maior parte dos 4 bilhões de anos decorridos desde a origem da vida, os organismos dominantes eram algas azul-esverdeadas microscópicas que cobriam e preenchiam os oceanos. Depois, há cerca de 600 milhões de anos, o dominante monopólio das algas foi rompido e ocorreu uma enorme proliferação de novas formas de vida, num evento chamado explosão cambriana. A vida tinha surgido quase de imediato após a origem da Terra, o que sugere que ela pode ser um processo químico inevitável num planeta com as características do nosso. Mas a vida não evoluiu muito além das algas azul-esverdeadas durante 3 bilhões de anos, o que sugere que a evolução até grandes formas de vida com órgãos especializados são eventos raros, até mesmo mais raros do que o próprio surgimento da vida. Talvez existam muitos outros planetas nos quais hoje haja micróbios em abundância, mas não grandes animais e vegetais.

Logo após a explosão cambriana, os oceanos fervilhavam com muitas formas diferentes de vida. Há 500 milhões de anos havia vastas multidões de trilobitas, animais lindamente estruturados, um pouco parecidos com grandes insetos; alguns caçavam em grupo no solo do oceano. Eles tinham cristais acumulados nos olhos, o que lhes permitia detectar luz polarizada. Mas hoje em dia não há trilobitas vivos; eles não existem há 200 milhões de anos. A Terra era habitada por plantas e animais dos quais hoje não resta um único traço de vida. E, é claro, cada espécie hoje existente no planeta uma vez não existiu. Nas rochas antigas não há nenhum indício da existência de animais parecidos conosco. Espécies surgem, permanecem por um período mais ou menos breve e depois saem de cena.

Antes da explosão cambriana parece que as espécies se sucediam umas às outras bem devagar. Essa impressão, em parte, se deve talvez ao fato de que nosso nível de informação declina rápido

quanto mais longe vasculhamos no passado; na história primeva de nosso planeta, poucos organismos tinham partes duras, e seres moles deixam poucos resíduos fósseis. Porém, em parte, esse ritmo moroso no surgimento de formas dramaticamente novas antes da explosão cambriana é real; a minuciosa evolução da estrutura e da bioquímica celular não se reflete de imediato nas formas externas revelada nos registros fósseis. Após a explosão cambriana, novas e primorosas adaptações seguiram-se uma à outra com uma velocidade, em termos comparativos, de tirar o fôlego. Numa rápida sucessão, apareceram os primeiros peixes e os primeiros vertebrados; plantas, que antes estavam restritas aos oceanos, começaram a colonizar a terra firme; desenvolveram-se os primeiros insetos e seus descendentes tornaram-se os pioneiros da colonização da terra por animais; insetos alados surgiram junto com os anfíbios, criaturas parecidas com os dipnoicos [peixes com pulmões], aptas a sobreviver tanto em terra quanto na água; surgiram as primeiras árvores e os primeiros répteis; dinossauros evoluíram; surgiram os mamíferos e depois as primeiras aves; apareceram as primeiras flores; os dinossauros foram extintos; surgiram os primeiros cetáceos, ancestrais de golfinhos e baleias, e, no mesmo período, os primatas — ancestrais dos macacos, dos hominoides e dos humanos. Menos de 10 milhões de anos atrás, evoluíram as primeiras criaturas mais parecidas com o homem, acompanhadas de um espetacular aumento no tamanho do cérebro. E então, há apenas alguns milhões de anos, surgiu o primeiro ser humano de verdade.

Os seres humanos cresceram em florestas; temos uma afinidade natural com elas. Como é bela uma árvore que se projeta em direção ao céu. Suas folhas colhem a luz solar para processar a fotossíntese, assim as árvores competem entre si lançando sombra sobre suas vizinhas. Se olhar com atenção, com frequência você verá duas árvores se empurrando e deslocando com lânguida graça. Árvores são grandes e belas máquinas energizadas pela luz solar, que absorvem água do solo e dióxido de carbono do ar, e convertem essas substâncias em alimento para seu e nosso uso. A planta usa os carboidratos que fabrica como fonte de energia para realizar seus negócios, suas plantices, e nós, animais, que em última análise somos parasitas das plantas, roubamos os carboidratos para que possamos realizar nossas humanices. Ao comer as plantas estamos combinando os carboidratos com o oxigênio dissolvido em nosso sangue, resultado de nossa propensão a inalar ar, e com isso obter a energia que nos impulsiona. No processo, exalamos dióxido de carbono, que as plantas então reciclam para produzir mais carboidratos. Que maravilhoso arranjo cooperativo — plantas e animais, cada um inalando as exalações do outro, uma espécie de ressuscitação boca a boca em âmbito planetário, todo esse elegante ciclo energizado por uma estrela que está a uma distância de 150 milhões de quilômetros.

Há dezenas de bilhões de tipos conhecidos de moléculas orgânicas. No entanto, apenas cinquenta delas são usadas nas atividades essenciais da vida. Os mesmos padrões são empregados repetidas vezes, conservadoramente, engenhosamente, para funções diferentes. E bem no coração da vida na Terra — as proteínas que controlam a química celular e os ácidos nucleicos que conduzem as instruções hereditárias — descobrimos que essas moléculas são em essência iguais em todas as plantas e todos os animais. Um carvalho e eu somos feitos do mesmo material. Se voltarmos no tempo longe o bastante, veremos que temos o mesmo ancestral.

Uma célula viva é um regime tão complexo e tão belo quanto o reino das galáxias e das estrelas. A

elaborada maquinaria da célula tem evoluído de maneira meticulosa por mais de 4 bilhões de anos. Fragmentos de alimento são transfigurados em maquinaria celular. O glóbulo branco sanguíneo de hoje é o creme de espinafre de ontem. Como é que as células fazem isso? Dentro delas há uma arquitetura labiríntica e sutil que mantém sua própria estrutura, transforma moléculas, armazena energia e as prepara para autorreplicação. Se pudéssemos entrar numa célula, muitas das partículas moleculares que veríamos seriam moléculas de proteínas, algumas em frenética atividade, outras apenas à espera. As proteínas mais importantes são as enzimas, moléculas que controlam as reações químicas da célula. Enzimas são como operários numa linha de montagem, cada uma delas especializada em uma tarefa molecular específica: o Passo 4, digamos, na construção do nucleotídeo fosfato de guanosina, ou o Passo 11, no desmonte de uma molécula de açúcar para dela extrair energia, moeda que paga pela realização de outras tarefas moleculares. Mas não são as enzimas que conduzem o espetáculo. Elas recebem suas instruções — e, de fato, elas mesmas são construídas — nas ordens enviadas por quem está no comando. As moléculas patroas são os ácidos nucleicos. Eles vivem sequestrados numa cidade proibida no interior mais profundo, o núcleo da célula.

Se mergulhássemos através de um poro para o interior do núcleo da célula, encontraríamos algo parecido com uma explosão numa fábrica de espaguete — uma multidão desordenada de espirais e fios que constituem os dois tipos de ácido nucleico: o DNA, que sabe o que fazer, e o RNA, que transmite as instruções emitidas pelo DNA para o resto da célula. Essas são as melhores coisas que uma evolução de 4 bilhões de anos conseguiu produzir, contendo todo o complemento de informação sobre como criar uma célula, uma árvore ou uma obra humana. A quantidade de informação num DNA humano, se fosse escrita numa língua qualquer, ocuparia cem tomos grossos. Além disso, as moléculas de DNA, com raríssimas exceções, sabem como fazer cópias idênticas de si mesmas. Elas sabem extraordinariamente muito.

O DNA é uma hélice dupla, os dois filamentos entrelaçados parecendo uma escada em espiral. É a sequência ou o ordenamento dos nucleotídeos ao longo de qualquer dos filamentos que constitui a linguagem da vida. Durante a reprodução, as hélices se separam, com a ajuda de uma proteína especial de desenrolamento, cada uma sintetizando uma cópia idêntica da outra a partir de blocos de construção dos nucleotídeos, flutuando, ali perto, no líquido viscoso do núcleo da célula. Uma vez começado o desenrolamento, uma enzima notável chamada polimerase do DNA ajuda a assegurar que a cópia funcione de maneira quase perfeita. Se um erro é cometido, há enzimas que eliminam o erro e substituem o nucleotídeo errado pelo certo. Essas enzimas são máquinas moleculares com tremendos poderes.

Além de fazer cópias exatas de si mesmas — e é nisso que consiste a hereditariedade —, o DNA nuclear dirige as atividades da célula — e é nisso que consiste o metabolismo —, sintetizando outro ácido nucleico, chamado RNA mensageiro, cada um dos quais passa para as regiões extranucleares e lá controla a construção, no tempo certo, no lugar certo, de uma enzima. Quando termina tudo isso, foi produzida uma molécula de enzima, que depois irá ordenar um aspecto específico da química celular.

O DNA humano é uma escada com 1 bilhão de nucleotídeos ao longo dela. A maioria das combinações possíveis de nucleotídeos é absurda: elas farão a síntese de proteínas que

desempenham funções inúteis. Apenas um número muitíssimo limitado de moléculas de ácido nucleico tem alguma utilidade para formas de vida tão complicadas como nós. Mesmo assim, o número de maneiras úteis com que se podem juntar ácidos nucleicos é imenso — talvez muito maior do que o número total de elétrons e prótons no universo. Por conseguinte, o número de seres humanos individuais possíveis é muitíssimo maior que o número de todos que já viveram: o potencial não aproveitado de espécimes humanos é enorme. Tem de haver maneiras de juntar ácidos nucleicos que funcionem muito melhor — seja qual for o critério adotado — do que qualquer ser humano que jamais viveu. Felizmente, ainda não sabemos como juntar sequências alternativas de nucleotídeos para criar tipos alternativos de seres humanos. No futuro talvez sejamos capazes de juntar nucleotídeos em qualquer sequência desejada para produzir quaisquer características que consideremos desejáveis — uma perspectiva muito séria e inquietante.

A evolução funciona por meio de mutação e seleção. As mutações podem ocorrer durante a replicação se a enzima polimerase do DNA cometer um erro. Mas ela quase nunca comete um erro. Mutações ocorrem também devido à radioatividade ou à luz ultravioleta do Sol, ou a raios cósmicos ou elementos químicos no meio ambiente, todos os quais são capazes de mudar os nucleotídeos ou fazer nós com os ácidos nucleicos. Se o ritmo da mutação for acelerado demais, perderemos a herança de 4 bilhões de anos de meticulosa evolução. Se for fraco demais, não ficarão disponíveis novas variedades que se possam adaptar a uma futura mudança no meio ambiente. A evolução da vida requer um equilíbrio mais ou menos preciso entre mutação e seleção. Quando se consegue esse equilíbrio, ocorrem notáveis adaptações.

Uma mudança num único nucleotídeo causa uma alteração num aminoácido na proteína que é codificada pelo DNA. As células vermelhas do sangue de pessoas de origem europeia têm aspecto mais ou menos globular. As células vermelhas do sangue de descendência africana se parecem com foices, ou crescentes. Células falciformes conduzem menos oxigênio e, como resultado, transmitem uma espécie de anemia. Também oferecem maior resistência contra a malária. Não há dúvida de que é melhor estar anêmico do que morto. Essa grande influência na função sanguínea — tão marcante a ponto de ser visível nas fotografias das células vermelhas do sangue — é o resultado da mudança de um único nucleotídeo entre os 10 bilhões no DNA de uma célula humana típica. Ainda não sabemos quais as consequências de mudanças na maior parte dos outros nucleotídeos.

Nós, humanos, temos um aspecto bem diferente do de uma árvore. Sem dúvida percebemos o mundo de maneira diversa da de uma árvore. Mas bem no fundo, no coração molecular da vida, as árvores e nós somos idênticos. Ambos usamos ácidos nucleicos como transmissores de hereditariedade; ambos usamos proteínas como enzimas que controlam a química de nossas células. O que é muito significativo, ambos usamos o mesmo livro de códigos para traduzir a informação do ácido nucleico em informação proteínica, como fazem virtualmente todas as criaturas no planeta.[3] A explicação usual para essa unidade celular é que somos — todos nós, árvores e seres humanos, peixes-pescadores, ameboides e paramécios — descendentes de uma instância comum na origem da vida, no início da história de nosso planeta. Como surgiram então essas moléculas críticas?

Em meu laboratório na Universidade Cornell trabalhamos, entre outras coisas, com química orgânica pré-biológica, compondo algumas notas para a música da vida. Misturamos e inflamamos

com centelhamento os gases que existiam na Terra em seus primórdios: hidrogênio, água, amônia, metano, hidrogênio, sulfato de hidrogênio [ou gás sulfídrico] — todos presentes hoje em dia, aliás, no planeta Júpiter e em todo o cosmos. Esse inflamar corresponde a relampejos — também presentes na Terra antiga e no Júpiter moderno. O recipiente no qual se processa a reação fica no início transparente: os gases precursores são invisíveis. Mas após dez minutos de centelhamento vemos um estranho pigmento marrom se formando nas paredes do recipiente. O interior aos poucos vai ficando opaco, coberto com espessa camada de alcatrão. Se tivéssemos usado luz ultravioleta — simulando o Sol primordial —, os resultados teriam sido mais ou menos os mesmos. O alcatrão é uma coleção riquíssima de moléculas orgânicas complexas, entre as quais as partes que constituem as proteínas e os ácidos nucleicos. A matéria da vida, assim se revela, pode ser criada com muita facilidade.

Esses experimentos foram realizados pela primeira vez no início da década de 1950 por Stanley Miller, então aluno de pós-graduação do químico Harold Urey. Urey tinha alegado, de maneira convincente, que a atmosfera primordial da Terra era rica em hidrogênio, como na maior parte do cosmos; que o hidrogênio tinha desde então se afastado da Terra para o espaço, mas não do enorme planeta Júpiter; e que a origem da vida ocorrera antes dessa perda do hidrogênio. Depois de Urey ter sugerido que esses gases deveriam ser incendiados por ignição, alguém lhe perguntou o que esperava obter com esse experimento. Urey respondeu: "*Beilstein*". *Beilstein* é o compêndio alemão em 28 volumes que lista todas as moléculas orgânicas conhecidas pelos químicos.

Usando apenas os gases mais abundantes presentes na Terra primeva e quase toda fonte de energia capaz de romper ligações químicas, podemos produzir os blocos de construção essenciais da vida. Mas em nosso recipiente só existem as notas que compõem a música da vida — não a própria música. Os blocos de construção moleculares têm de ser juntados na sequência correta. A vida com certeza é mais do que aminoácidos que formam suas proteínas e nucleotídeos que formam seus ácidos nucleicos. Mas mesmo com a ordenação desses blocos de construção numa longa cadeia de moléculas houve um progresso substancial no laboratório. Aminoácidos foram reunidos nas condições existentes na Terra em tempos primordiais para formar moléculas parecidas com proteínas. Algumas delas controlam fracamente reações químicas úteis, como fazem as enzimas. Nucleotídeos foram juntados em filamentos com algumas dúzias de unidades. Sob circunstâncias adequadas no tubo de ensaio, ácidos nucleicos curtos sintetizam cópias idênticas de si mesmos.

Ninguém até agora conseguiu misturar os gases e as águas da Terra primitiva e no final do experimento ver algo sair se arrastando do tubo de ensaio. As menores coisas vivas conhecidas, os viroides, são formadas por menos de 10 mil átomos. Eles causam várias e diversas doenças em plantas cultivadas e é provável que tenham evoluído em tempos mais recentes a partir de organismos mais complexos, e não a partir de organismos mais simples. Na verdade, é difícil imaginar um organismo ainda mais simples que esteja, em qualquer sentido, vivo. Viroides são compostos apenas de ácido nucleico, ao contrário dos vírus, que têm também um revestimento de proteína. Não são mais do que um único filamento de RNA com uma geometria ou linear ou em círculo fechado. Os viroides podem ser tão pequenos e ainda assim vicejar porque são inveterados e persistentes parasitas. Assim como os vírus, eles se apoderam da maquinaria molecular de uma

célula muito maior e que funciona bem e a transformam de fábrica para produzir mais células numa fábrica para produzir mais viroides.

Os menores organismos de vida livre que se conhece são os microplasmas (que no início foram chamados de PPLO, sigla em inglês de *pleuropneumonia-like organisms*) e minúsculos animais semelhantes. São formados por cerca de 50 milhões de átomos. Esses organismos, tendo de ser mais autossuficientes, são mais complicados do que viroides e vírus. Mas o meio ambiente terrestre hoje não é extremamente favorável a formas simples de vida. É preciso trabalhar duro para obter sustento. É preciso ter cuidado com predadores. No entanto, na história primeva de nosso planeta, quando enormes quantidades de moléculas orgânicas estavam sendo produzidas pela luz solar numa atmosfera rica em hidrogênio, organismos não parasitas muito simples tiveram uma oportunidade para lutar. As primeiras coisas vivas podem ter sido algo como viroides de vida livre com apenas umas poucas centenas de nucleotídeos em seu comprimento. No final do século XX, talvez tenha início um trabalho experimental para produzir essas criaturas a partir do zero. Ainda há muito a ser compreendido quanto à origem da vida, inclusive a origem do código genético. Mas só temos realizado esses experimentos há uns trinta anos. A natureza começou 4 bilhões de anos antes. Considerando tudo, não nos saímos tão mal.

Nada nesses experimentos diz respeito apenas à Terra. Os gases do início e as fontes de energia são comuns em todo o cosmos. Reações químicas iguais àquelas que fazemos nos recipientes de nossos laboratórios podem ser as responsáveis pela matéria orgânica no espaço interestelar e pelos aminoácidos encontrados em meteoritos. Uma química semelhante pode ter corrido em 1 bilhão de outros mundos na Via Láctea. As moléculas da vida enchem o cosmos.

Mas mesmo que a vida em outro planeta tenha a mesma química molecular que tem aqui, não há motivo para se esperar que ela se apresente na forma de organismos que nos são familiares. Considere a enorme diversidade das coisas vivas na Terra, todas compartilhando o mesmo planeta e uma biologia molecular idêntica. Aqueles outros animais e vegetais talvez sejam radicalmente diferentes de quaisquer organismos que conhecemos aqui. Pode haver alguma evolução convergente, porque talvez haja apenas uma solução melhor para determinado problema ambiental — como a existência de dois olhos, por exemplo, para proporcionar uma visão binocular em frequências ópticas. Mas em geral o caráter aleatório do processo evolucionário deveria gerar criaturas extraterrestres muito diferentes daquelas que conhecemos.

Não tenho como lhe dizer que aspecto teria um ser extraterrestre. Fico terrivelmente limitado pelo fato de que só conheço um tipo de vida, a vida na Terra. Algumas pessoas — escritores e artistas que trabalham com o tema ficção científica, por exemplo — especularam sobre como poderiam ser esses outros seres. Sou cético quanto à maioria dessas concepções extraterrestres. A mim parece que se inspiram demais em formas de vida que já conhecemos. Cada organismo específico é do jeito que é devido a uma longa série de etapas que são, em termos individuais, improváveis. Não creio que a forma de vida em outro lugar, seja onde for, se pareça muito com a de um réptil, ou um inseto, ou um humano — mesmo tendo pequenos ajustes cosméticos como uma pele verde, orelhas pontudas e antenas. Mas se me pressionarem, posso tentar imaginar algo bem diferente:

Num planeta gasoso gigante, como Júpiter, com atmosfera rica em hidrogênio, hélio, metano, água e amônia, não existe algo sólido acessível na superfície, e sim uma atmosfera densa e nublada, na qual moléculas orgânicas podem estar caindo do céu como caía o maná, como os produtos de nossos experimentos laboratoriais. Contudo, há um empecilho característico à vida num planeta como esse: a atmosfera é turbulenta e muito quente em sua camada mais profunda. Um organismo teria de ter cuidado para não ser carregado para baixo e fritar.

Para demonstrar que a vida não é algo fora de questão num planeta tão diferente, E. E. Salpeter, meu colega em Cornell, e eu fizemos alguns cálculos. Claro que não temos como saber com exatidão como seria a vida num lugar assim, mas queríamos ver se, dentro das leis da física e da química, um mundo desse tipo tem possibilidade de ser habitado.

Uma forma de viver em tais condições é reproduzir-se antes de ser fritado e esperar que a convecção carregue alguns de seus rebentos para as camadas superiores e mais frescas da atmosfera. Esses organismos poderiam ser muito pequenos. Nós os chamamos de “afundadores”. Mas você poderia ser também um flutuador, algum grande balão de hidrogênio bombeando hélio e gases pesados do seu interior, deixando apenas o gás mais leve, o hidrogênio; ou então um balão de ar quente, que se mantém flutuando mediante seu interior aquecido ao usar a energia adquirida do alimento que você come. Assim como nos balões terrestres que nos são familiares, quanto mais fundo for levado um flutuador, mais forte será a força de flutuação que o fará retornar a regiões mais elevadas, frescas e seguras da atmosfera. Um flutuador poderia comer moléculas orgânicas pré-formadas, ou criar as suas próprias da luz solar e do ar, um pouco como fazem as plantas na Terra. Até certo ponto, quanto maior for um flutuador, mais eficiente será. Salpeter e eu imaginamos flutuadores com quilômetros de envergadura, muitíssimo maiores que a maior baleia que jamais existiu, seres do tamanho de cidades.

Esses flutuadores poderiam se propulsionar pela atmosfera do planeta com jatos de gás, como um motor a reação ou um foguete. Nós os imaginamos dispostos em grandes e preguiçosos rebanhos que vão até onde a vista pode alcançar, com formas desenhadas em sua pele, uma camuflagem adaptativa a implicar que eles também têm problemas. Pois deve haver pelo menos mais um nicho ecológico num ambiente como esse: o da caça. Caçadores são rápidos e estrategistas. Eles comem os flutuadores por suas moléculas orgânicas e também por armazenarem hidrogênio puro. Afundadores ocos teriam evoluído para formar os primeiros flutuadores, e flutuadores de autopropulsão para formar os primeiros caçadores. Não pode haver muitos caçadores, porque se consumissem todos os flutuadores, os próprios caçadores estariam em perigo.

A física e a química permitem a existência dessas formas de vida. A arte lhes outorga certo charme. A natureza, no entanto, não é obrigada a acompanhar nossas especulações. Mas se existem bilhões de mundos habitados na Via Láctea, talvez haja alguns habitados pelos afundadores, flutuadores e caçadores que nossa imaginação, temperada pelas leis da física e da química, concebeu.

A biologia se parece mais com a história do que com a física. Você tem de conhecer o passado para compreender o presente. E tem de conhecê-lo em detalhes. Ainda não existe uma teoria preditiva da biologia, assim como não existe uma teoria preditiva da história. Os motivos são os

mesmos: ambos os assuntos ainda são complicados demais para nós. Mas podemos nos conhecer melhor se compreendermos outros casos. O estudo de uma única ocorrência de vida extraterrestre, não importa quão modesta seja, irá desprovincializar a biologia. Pela primeira vez, os biólogos saberão quais outras formas de vida são possíveis. Quando dizemos que a busca de vida em outro lugar é importante, não estamos afirmando que será fácil encontrá-la — apenas que a busca vale muito a pena.

Até agora ouvimos a voz da vida apenas em nosso pequeno mundo. Mas por fim começamos a prestar atenção a outras vozes na fuga cósmica.

---

* O termo *true breed* aqui usado no original refere-se à transmissão à geração seguinte das mesmas características genéticas dos reprodutores. (N. T.)

3. A harmonia de mundos

> *Não perguntamos para qual propósito útil os pássaros cantam, pois o canto é seu prazer, já que foram criados para cantar. Da mesma forma, não devíamos perguntar por que a mente humana se esforça por penetrar os segredos dos céus [...]. A diversidade dos fenômenos da natureza é tão grande, e os tesouros ocultos nos céus são tão ricos, exatamente para que a mente humana nunca esteja carente de uma renovada nutrição.*
>
> Johannes Kepler, *Mysterium Cosmographicum*

Se vivêssemos num planeta onde nada nunca mudasse, pouco haveria para fazer. Não haveria nada a descobrir. Não haveria incentivo para a ciência. E se vivêssemos num mundo imprevisível, onde as coisas mudassem de modo aleatório ou de maneiras muito complexas, não seríamos capazes de ter uma ideia sobre as coisas. Mais uma vez, não haveria essa coisa chamada ciência. Mas vivemos num universo intermediário, onde as coisas mudam, porém de acordo com certos padrões, regras ou, como nós as chamamos, leis da natureza. Se atirarmos um pedaço de pau para o ar, ele sempre cairá. Se o Sol se põe no Ocidente, ele sempre nasce de novo na manhã seguinte no Oriente. E assim fica possível ter uma ideia das coisas. Podemos fazer ciência, e com isso melhorar nossas vidas.

Seres humanos são bons em entender o mundo. Sempre fomos. Só conseguimos sair à caça ou de fazer fogueiras porque tínhamos uma ideia das coisas. Houve um tempo anterior à televisão, aos filmes de cinema, ao rádio, aos livros. A maior parte da existência humana foi passada nesse tempo. Em torno das brasas da fogueira que se extinguiam, numa noite sem lua, olhávamos as estrelas.

O céu noturno é interessante. Lá existem padrões, formatos. Sem sequer se esforçar, você pode imaginar figuras. No céu do Norte, por exemplo, há uma configuração, ou constelação, que parece um pequeno urso. Algumas culturas o chamam de Grande Urso, ou Ursa Maior. Outras veem imagens bem diferentes. Essas figuras não estão *de verdade* no céu noturno; nós mesmos as pomos lá. Fomos caçadores, e enxergamos caçadores e cães, ursos e moças, todo tipo de coisa que nos interessa. Quando marinheiros europeus do século XVIII viram o céu meridional pela primeira vez, eles puseram no céu objetos de interesse do século XVII — tucanos e pavões, telescópios e microscópios, bússolas e popas de navios. Se as constelações tivessem recebido seus nomes no século XX, suponho que veríamos no céu bicicletas e geladeiras, astros do rock 'n' roll e talvez até nuvens em forma de cogumelo — um novo conjunto de esperanças e medos humanos colocados entre as estrelas.

Vez ou outra nossos ancestrais viam uma estrela muito brilhante com uma cauda, vislumbrada só por um momento, arremetendo através do céu. Eles a chamavam de estrela cadente, mas não é um bom nome: as antigas estrelas ainda estão lá depois que as estrelas cadentes caem. Em algumas

épocas há muitas estrelas cadentes; em outras, muito poucas. Aqui também existe certo tipo de regularidade.

Assim como o Sol e a Lua, as estrelas sempre surgem no Leste e se põem no Oeste, levando a noite toda para cruzar o céu, quando visíveis acima de nossas cabeças. Em épocas diferentes constelações diferentes são visíveis. No início do outono, digamos, são sempre as mesmas constelações que aparecem. Nunca acontece de uma nova constelação aparecer de repente no Leste. Existe uma ordem, uma previsibilidade, uma constância das estrelas. De certa forma, isso é quase reconfortante.

Certas estrelas surgem logo antes ou se põem logo depois do Sol — e em tempos e posições que variam com as estações do ano. Se você realizasse observações cuidadosas das estrelas e as registrasse durante muitos anos, poderia prever as estações. Também poderia medir qual é a época do ano notando onde o Sol nasce no horizonte a cada dia. Nos céus existe um imenso calendário, acessível a todos com dedicação, aptidão e meios para manter esses registros.

Nossos ancestrais construíram dispositivos para medir a passagem das estações. Em Chaco Canyon, no Novo México, há uma grande *kiva*, ou templo cerimonial, sem telhado, que remonta ao século XI. No dia 21 de junho, que no hemisfério norte é o dia mais longo do ano, um raio de luz solar entra por uma janela ao nascer do Sol e se move devagar, passando por um nicho especial. Mas isso só acontece em 21 de junho. Imagine os orgulhosos anasazis, povo que chamava a si mesmo de "Os Antigos", reunidos a cada dia 21 de junho, sentados nos bancos do templo, vestidos em suas plumas, com seus chocalhos e suas turquesas, para celebrar o poder do Sol. Eles monitoravam também o movimento aparente da Lua: os 28 nichos superiores na *kiva* podem representar o número de dias que nosso satélite leva para retornar à mesma posição entre as constelações. Essas pessoas prestavam muita atenção ao Sol, à Lua e às estrelas. Outros dispositivos fundamentados na mesma ideia encontram-se em Angkor Wat, no Camboja; em Stonehenge, na Inglaterra; em Abu Simbel, no Egito; em Chichén Itzá, no México; e nas Grandes Planícies da América do Norte.

Alguns desses supostos dispositivos que indicam um momento no calendário podem ser capazes disso por mero acaso — um alinhamento casual de uma janela e um nicho que se revela no dia 21 de junho, por exemplo. Mas há outros dispositivos maravilhosamente diferentes. Em certo local no Sudoeste americano há um conjunto de três lajes verticais que foram movidas de sua posição original cerca de mil anos atrás. Na rocha foi gravada uma espiral um pouco parecida com uma galáxia. No dia 21 de junho, o primeiro dia do verão no hemisfério norte, um raio de sol, atravessando uma brecha entre as lajes como se fosse um punhal, divide ao meio a espiral; e em 21 de dezembro, primeiro dia do inverno, há dois punhais de raios de sol que flanqueiam a espiral, um sistema único para ler o calendário no céu usando o sol do meio-dia.

Por que pessoas por todo o mundo fizeram tantos esforços para estudar astronomia? Caçávamos gazelas, antílopes e búfalos, cujas migrações diminuíam e aumentavam de acordo com as estações. Frutas e nozes estavam prontas para serem colhidas em certas épocas, mas não em outras. Quando inventamos a agricultura, tivemos de cuidar de plantar e colher nossas safras na época correta. Encontros anuais de tribos nômades dispersas eram marcados em datas prefixadas. A aptidão para ler o calendário no céu era literalmente uma questão de vida ou morte. O reaparecimento da lua

crescente depois da lua nova, o retorno do Sol após um eclipse total, a ascensão do Sol pela manhã após sua preocupante ausência durante a noite eram observados por pessoas no mundo inteiro; esses fenômenos falavam a nossos ancestrais sobre a possibilidade de sobreviver à morte. Lá no céu havia também uma metáfora da imortalidade.

O vento passa chicoteando através dos cânions do Sudoeste americano e não há ninguém lá para ouvi-lo a não ser nós — reminiscentes de 40 mil gerações de homens pensantes que nos precederam, sobre os quais não sabemos quase nada, nos quais se baseia nossa civilização.

Com a passagem das eras, as pessoas aprendiam com seus ancestrais. Quanto mais preciso fosse seu conhecimento da posição e dos movimentos do Sol, da Lua e das estrelas, com mais plausibilidade você poderia prever quando caçar, quando semear e colher, quando reunir as tribos. À medida que aumentava a exatidão das medições, registros tiveram de ser guardados, e assim a astronomia estimulou a observação, a matemática e o desenvolvimento da escrita.

Porém então, muito mais tarde, surgiu outra ideia bem curiosa, um surto de misticismo e superstição no que tinha sido sobretudo uma ciência empírica. O Sol e as estrelas controlavam as estações, os alimentos, o aquecimento. A Lua controlava as marés, os ciclos de vida de muitos animais e talvez o período menstrual[1] humano — de importância central para uma espécie apaixonada e que se dedica a ter filhos. Havia outro tipo de objeto no céu, estrelas itinerantes, ou errantes, chamadas planetas. Nossos ancestrais nômades devem ter sentido certa afinidade com esses planetas. Sem contar o Sol e a Lua, só conseguiam ver cinco deles, que se movimentavam contra um fundo de estrelas mais distantes. Se você acompanhasse seu movimento aparente durante muitos meses, veria esses astros deixar uma constelação, entrar em outra, de vez em quando fazendo até uma espécie de lento loop total de 360 graus no céu. Tudo o mais no céu parecia ter um efeito real sobre a vida humana. Qual deveria ser então a influência dos planetas?

Na sociedade ocidental contemporânea, comprar uma revista de astrologia — digamos, numa banca de jornais — é fácil; muito mais difícil é achar uma sobre astronomia. Quase todo jornal nos Estados Unidos tem uma coluna sobre astrologia; dificilmente haverá algum que tenha uma coluna, mesmo que semanal, sobre astronomia. Há dez vezes mais astrólogos do que astrônomos no país. Em festas, quando conheço pessoas que não sabem que sou cientista, às vezes me perguntam: "Você é de Gêmeos?" (probabilidade de acerto: uma em doze) ou "Qual é o seu signo?". É muito mais raro me perguntarem: "Você ouviu dizer que em explosões de supernovas se forma ouro?" ou "Quando você acha que o Congresso vai aprovar um Mars Rover, uma sonda marciana?".

A astrologia alega que a constelação na qual o planeta esteja no momento do nascimento da pessoa exercerá profunda influência em seu futuro. Alguns milhares de anos atrás se desenvolveu a ideia de que os movimentos dos planetas determinavam os destinos de reis, dinastias, impérios. Os astrólogos estudavam os movimentos dos planetas e se perguntavam o que tinha acontecido, digamos, na última vez em que Vênus ascendera à constelação de Capricórnio; talvez algo semelhante viesse a acontecer dessa vez também. Era um negócio sutil e arriscado. Os astrólogos só eram empregados pelo Estado. Em muitos países seria um delito grave qualquer pessoa que não o astrólogo oficial interpretar os presságios dos céus: uma boa maneira de derrubar um regime era predizer sua queda. Os astrólogos da corte chinesa que faziam previsões inexatas eram executados.

Outros simplesmente alteravam os registros, de modo que depois estivessem em conformidade com os acontecimentos. A astrologia desenvolveu-se numa estranha combinação de observações, matemática e cuidadosos registros cheios de ideias turvas e pura fraude.

Mas se planetas podiam determinar o destino de nações, como deixariam de influenciar o que aconteceria comigo amanhã? A ideia da astrologia pessoal desenvolveu-se em Alexandria, no Egito, e disseminou-se pelos mundos grego e romano há cerca de 2 mil anos. Hoje reconhecemos a antiguidade da astrologia em palavras como *desastre*, que vem do grego para "estrela ruim", *influenza*, do italiano para "influência" (astral), *mazal tov*, do hebraico — e, por fim, babilônio — para "boa constelação", ou a palavra do iídiche *shlimazel*, atribuída a que alguém atormentado por implacável azar, que remonta de novo ao léxico astronômico babilônio. Segundo Plínio, havia romanos que eram considerados *sideratio*, "tocados pelos planetas". Os planetas eram tidos como causa direta da morte. Ou considere a palavra inglesa *consider*: significa "com os planetas", evidentemente um pré-requisito para uma reflexão mais séria. Considere as estatísticas de mortalidade na cidade de Londres em 1632. Entre as terríveis perdas causadas por doenças infantis e por enfermidades exóticas como "a elevação de luzes", ou "o mal do rei", descobrimos que, de 9535 mortes, treze pessoas sucumbiram aos "planetas", mais do que as que morreram de câncer. Eu me pergunto quais seriam os sintomas.

E a astrologia pessoal ainda existe entre nós: considere as seções de astrologia em dois jornais diferentes, publicadas no mesmo dia na mesma cidade. Por exemplo, examinemos a do *New York Post* e a do *Daily News*, em 21 de setembro de 1979. Suponhamos que você seja Libra — isto é, que nasceu entre 23 de setembro e 22 de outubro. Segundo o astrólogo do *Post*, "um acordo vai ajudar a aliviar a tensão"; útil, talvez, mas um tanto vago. Segundo o astrólogo do *Daily News*, você deve "exigir mais de si mesmo", uma admoestação que também é vaga, mas também diferente. Essas "previsões" não são previsões; são mais conselhos — dizem o que fazer, não o que vai acontecer. Deliberadamente, são redigidas de modo tão genérico que se poderiam aplicar a qualquer um. E apresentam grandes inconsistências uma em relação à outra. Por que são publicadas sem o menor constrangimento, como se fossem estatísticas esportivas ou relatórios da Bolsa de Valores?

A astrologia pode ser testada acompanhando-se a vida de gêmeos. Há muitos casos nos quais um dos gêmeos morre na infância, num acidente de carro, por exemplo, ou atingido por um raio, enquanto o outro vive até uma próspera e provecta idade. Ambos nasceram no mesmo local e com minutos de diferença. Os mesmos planetas eram ascendentes na hora de seus nascimentos. Se a astrologia fosse para valer, como poderiam esses dois gêmeos ter destinos tão diferentes? E constata-se também que astrólogos nem sequer concordam entre eles quanto ao que significa um dado horóscopo. Em testes cuidadosos, são incapazes de predizer o caráter e o futuro de pessoas das quais nada sabem, exceto a hora e o lugar de nascimento.[2]

Há um aspecto curioso no que tange a bandeiras nacionais no planeta Terra. A bandeira dos Estados Unidos tem cinquenta estrelas; as da União Soviética e de Israel, uma; a da Birmânia, catorze; as de Granada e da Venezuela, sete; a da China, cinco; a do Iraque, três; a de São Tomé e Príncipe, duas; as do Japão, Uruguai, Malawi, Bangladesh e Taiwan têm o Sol; a do Brasil, uma esfera celeste; as da Austrália, Samoa Ocidental, Nova Zelândia e Papua-Nova Guiné têm a

constelação do Cruzeiro do Sul; a do Butão, um dragão com pérolas, símbolo da Terra; a do Camboja tem o observatório astronômico de Angkor Wat; as da Índia, Coreia do Sul e República Popular da Mongólia, símbolos cosmológicos. As de muitas nações socialistas exibem estrelas. As de muitos países islâmicos, luas crescentes. Quase metade de nossas bandeiras nacionais estampa símbolos astronômicos. É um fenômeno transcultural, não sectário, mundial. E não se restringe a nossa época: carimbos cilíndricos da Suméria do terceiro milênio antes da era cristã e bandeiras taoistas na China pré-revolucionária exibiam constelações. As nações, não tenho dúvida, querem abraçar algo do poder e da credibilidade dos céus. Buscamos uma conexão com o cosmos. Queremos nos incluir na grande escala das coisas. E acontece que *estamos* conectados — não do modo não imaginativo, pessoal, em pequena escala pretendido pelos astrólogos, mas de modos mais profundos, que envolvem a origem da matéria, a habitabilidade da Terra, a evolução e o destino da espécie humana, temas aos quais ainda retornaremos.

A astrologia popular moderna remonta diretamente a Claudius Ptolemaeus, que chamamos de Ptolomeu, conquanto não tenha relação com os reis que tiveram esse nome. Ele trabalhou na Biblioteca de Alexandria, no século II. Toda essa misteriosa questão de planetas ascendentes nessa ou naquela "casa" solar ou lunar, ou da "Era de Aquário", vem de Ptolomeu, que codificou a tradição astrológica babilônia. Eis um horóscopo típico da época de Ptolomeu, escrito em grego sobre papiro, para uma menininha nascida no ano 150: "O nascimento de Filoe. Décimo ano do imperador Antonino César, 15 a 16 de Phamenoth,* primeira hora da noite. Sol em Peixes, Júpiter e Mercúrio em Áries, Saturno em Câncer, Marte em Leão, Vênus e a Lua em Aquário, horóscopo Capricórnio". O método de enumerar os meses e os anos mudou muito mais no decurso dos séculos do que as sutilezas astrológicas. Num excerto típico do livro de Ptolomeu sobre astrologia, o *Tetrabiblos*, lê-se: "Saturno, se estiver no Oriente, torna seus súditos, na aparência, de pele escura, robustos, de cabelos pretos encaracolados, de peito cabeludo, com olhos de tamanho moderado, estatura média e, no temperamento, com excesso de umidade e de frio". Ptolomeu acreditava não só que os padrões de comportamento eram influenciados pelos planetas e pelas estrelas, mas também que questões de estatura, compleição, caráter nacional e até anormalidades físicas congênitas eram determinadas pelas estrelas. Quanto a isso, astrólogos modernos parecem ter adotado uma posição mais cautelosa.

Porém os astrólogos modernos se esqueceram da precessão dos equinócios, o que Ptolomeu compreendia. Eles ignoram a refração atmosférica, sobre a qual Ptolomeu escreveu. Quase não prestam atenção a todas as luas e todos os planetas, asteroides e cometas, quasares e pulsares, galáxias que explodem, estrelas simbióticas, variáveis cataclísmicas e fontes de raios X que têm sido descobertos desde o tempo de Ptolomeu. A astronomia é uma ciência — o estudo do universo tal como ele é. A astrologia é uma pseudociência — uma reivindicação, sem ter uma boa evidência, de que outros planetas afetam nossa vida cotidiana. Na época de Ptolomeu a distinção entre astronomia e astrologia não estava clara. Hoje, está.

Como astrônomo, Ptolomeu deu nome a estrelas, registrou e listou seus brilhos, apresentou boas razões para que se acreditasse que a Terra era uma esfera, estabeleceu regras para a previsão de

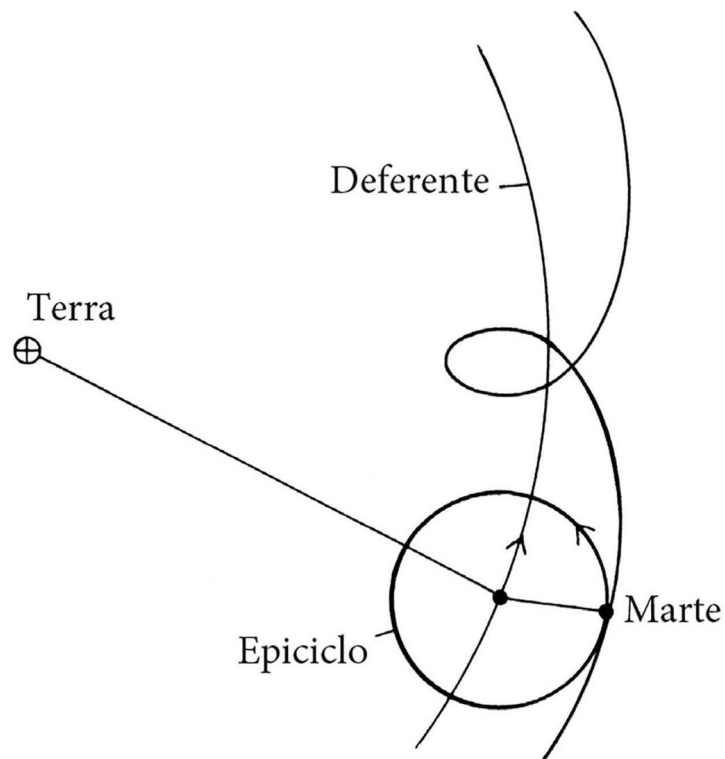
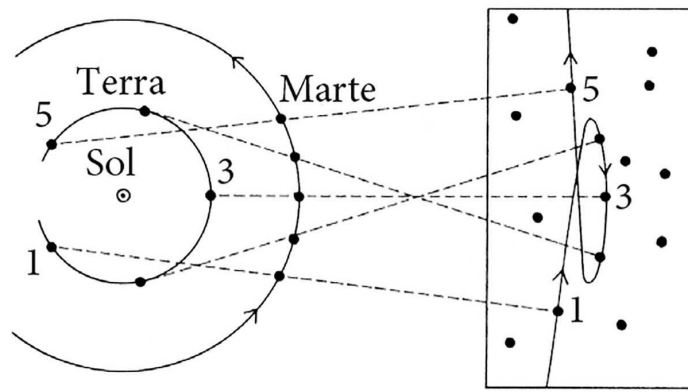
eclipses e, talvez o mais importante, tentou compreender por que os planetas exibem esse estranho movimento errante contra um fundo formado por constelações distantes. Ele desenvolveu um modelo preditivo para se compreender os movimentos planetários e se decodificar a mensagem dos céus. O estudo dos céus o levou a uma espécie de êxtase. “Mortal como sou”, escreveu, “sei que nasci para durar um dia. Mas quando acompanho sempre que quero a compacta multiplicidade dos astros em seu curso circular, meus pés já não tocam a Terra…”

Ptolomeu acreditava que a Terra estava no centro do universo; que em torno dela giravam o Sol, a Lua, planetas e estrelas. Essa é a ideia mais natural do mundo. A Terra parece estável sólida, imóvel, e podemos ver os corpos celestes se levantando e se pondo a cada dia. Toda cultura remetia à hipótese geocêntrica. Como escreveu Johannes Kepler,

> é portanto impossível que uma razão não previamente informada imaginasse outra coisa que não que a Terra é uma espécie de grande casa com a abóbada celeste acima dela; que ela é imóvel e que dentro dela o Sol, sendo tão pequeno, passa de uma região a outra, como um pássaro vagando pelo ar.

Mas como explicamos o movimento aparente dos planetas — Marte, por exemplo, que já era conhecido milhares de anos antes da época de Ptolomeu? (Um dos epítetos atribuídos a Marte pelos antigos egípcios era *sekded-ef em khetkhet*, que significa “que anda para trás”, clara referência a seu aparente movimento retrógrado, ou um loop de 360 graus.)

O modelo de movimento planetário de Ptolomeu pode ser representado por uma pequena máquina, como aquelas que, com propósito similar, existiam no seu tempo.[3] O problema consistia em descobrir qual era o movimento “real” dos planetas, como visto lá de cima, “do lado de fora”, para a máquina reproduzir com grande exatidão o movimento aparente dos planetas, como visto aqui de baixo, “do lado de dentro”.

Imaginava-se que os planetas giravam em torno da Terra afixados em esferas perfeitas e transparentes. Mas eles não estavam presos às esferas diretamente, e sim por meio de uma espécie de roda descentrada. A esfera gira, a pequena roda gira e, como é visto da Terra, Marte faz seu loop de 360 graus. Esse modelo permite que se façam previsões razoavelmente precisas do movimento planetário, boas o bastante para o grau de precisão nas medições disponíveis no tempo de Ptolomeu, e até muitos séculos depois.

No sistema geocêntrico de Ptolomeu, a pequena esfera, chamada epiciclo, que contém o planeta, gira anexada a uma esfera maior que gira também, produzindo um movimento retrógrado aparente contra o fundo de estrelas distantes.

No sistema de Copérnico, a Terra e outros planetas movem-se em órbitas circulares. Quando a Terra ultrapassa Marte, este tem um aparente movimento retrógrado contra o fundo de estrelas distantes.

As esferas etéreas de Ptolomeu, que na Idade Média se imaginava serem de cristal, são o motivo de ainda falarmos sobre a música das esferas e de um sétimo céu (havia um "céu", ou esfera, para a Lua, para Mercúrio, Vênus, o Sol, Marte, Júpiter e Saturno, e mais um para as estrelas). Com a Terra no centro do universo, a criação centrada em eventos terrestres, os céus imaginados como construídos sobre princípios sobrenaturais, havia pouca motivação para observações astronômicas. Com o apoio da Igreja durante a Idade das Trevas, o modelo de Ptolomeu ajudou a impedir o avanço da astronomia por um milênio. Por fim, em 1543, uma hipótese totalmente diferente para o movimento aparente dos planetas foi publicada por um clérigo católico polonês chamado Nicolau Copérnico. Seu aspecto mais ousado foi a proposição de que o Sol, não a Terra, estava no centro do universo. A Terra foi rebaixada a apenas um dos planetas, o terceiro a partir do Sol, que se movem em órbitas perfeitamente circulares. (Ptolomeu chegara a considerar um modelo heliocêntrico como esse, porém de imediato o rejeitou; a partir da física de Aristóteles a implícita rotação violenta da Terra parecia ser contrária à observação.)

O modelo funcionou pelo menos tão bem quanto as esferas de Ptolomeu na explicação do movimento aparente dos planetas. Mas isso incomodou muita gente. Em 1616 a Igreja católica incluiu a obra de Copérnico na lista de livros proibidos "até que fosse corrigida" pelos censores eclesiásticos locais, onde permaneceu até 1835.[4] Martinho Lutero o descreveu como um "astrólogo presunçoso [...]. Esse louco quer reverter toda a história da astronomia. Mas as Escrituras Sagradas nos contam que Josué ordenou que o Sol, e não a Terra, parasse". Até alguns dos admiradores de Copérnico alegaram que ele na verdade não acreditava num universo centrado no Sol e só tinha proposto esse modelo como uma conveniência para o cálculo dos movimentos dos planetas.

O confronto histórico entre as duas visões do cosmos — geocêntrica e heliocêntrica — chegou a seu clímax nos séculos XVI e XVII, na pessoa de um homem que, como Ptolomeu, era ao mesmo tempo astrólogo e astrônomo. Ele viveu numa época na qual o espírito humano estava amarrado, e a mente, acorrentada; quando os pronunciamentos eclesiásticos de um ou dois milênios antes eram considerados mais plausíveis que as descobertas contemporâneas feitas mediante técnicas que não eram disponíveis para os antigos; em que desvios das preferências doxológicas prevalentes católica e protestante, mesmo em relação a misteriosas questões teológicas, eram punidos com humilhação, multas, exílio, tortura ou morte. Os céus eram habitados por anjos, demônios e a Mão de Deus, que fazia girar as esferas de cristal planetárias. A ciência era desprovida da ideia de que o que subjazia aos fenômenos da natureza poderiam ser as leis da física. Mas a corajosa e solitária luta desse homem iria desencadear a revolução científica moderna.

Johannes Kepler nasceu na Alemanha em 1571 e ainda menino foi enviado para o seminário de uma escola protestante na cidade provinciana de Maulbronn a fim de ser educado para a vida religiosa. Era uma espécie de campo de treinamento, o treinamento das mentes no uso das armas teológicas contra a fortaleza do catolicismo romano. Obstinado, inteligente e ferrenhamente independente, Kepler sofreu durante dois anos, sem amigos, na sombria Maulbronn, tornando-se solitário e retraído, os pensamentos dedicados a sua imaginada insignificância aos olhos de Deus. Ele arrependeu-se de mil pecados, não mais vis que os de ninguém, desesperado por alcançar a salvação.

Porém Deus tornou-se para ele mais do que a ira divina para a qual implorava uma conciliação. O Deus de Kepler era a força criativa do cosmos. A curiosidade do menino venceu o seu medo. Ele desejou aprender a escatologia do mundo; ousou contemplar a Mente de Deus. Essas visões perigosas, de início não substanciais, como uma memória, tornaram-se a obsessão de uma vida inteira. Os anseios húbricos de uma criança seminarista tirariam a Europa do claustro que era o pensamento medieval.

As ciências da Antiguidade clássica tinham sido silenciadas mais de mil anos antes, mas no final da Idade Média alguns tênues ecos daquelas vozes, preservados por sábios árabes, começaram a se insinuar no currículo educacional europeu. Em Maulbronn, Kepler ouviu essas reverberações, estudando, além de teologia, grego e latim, música e matemática. Na geometria de Euclides ele pensou ter vislumbrado uma imagem de perfeição e glória cósmica. Escreveria mais tarde: “A geometria existiu antes da Criação. Ela é coeterna com a Mente de Deus [...]. A geometria proveu Deus com um modelo para a Criação [...]. A geometria é o Próprio Deus”.

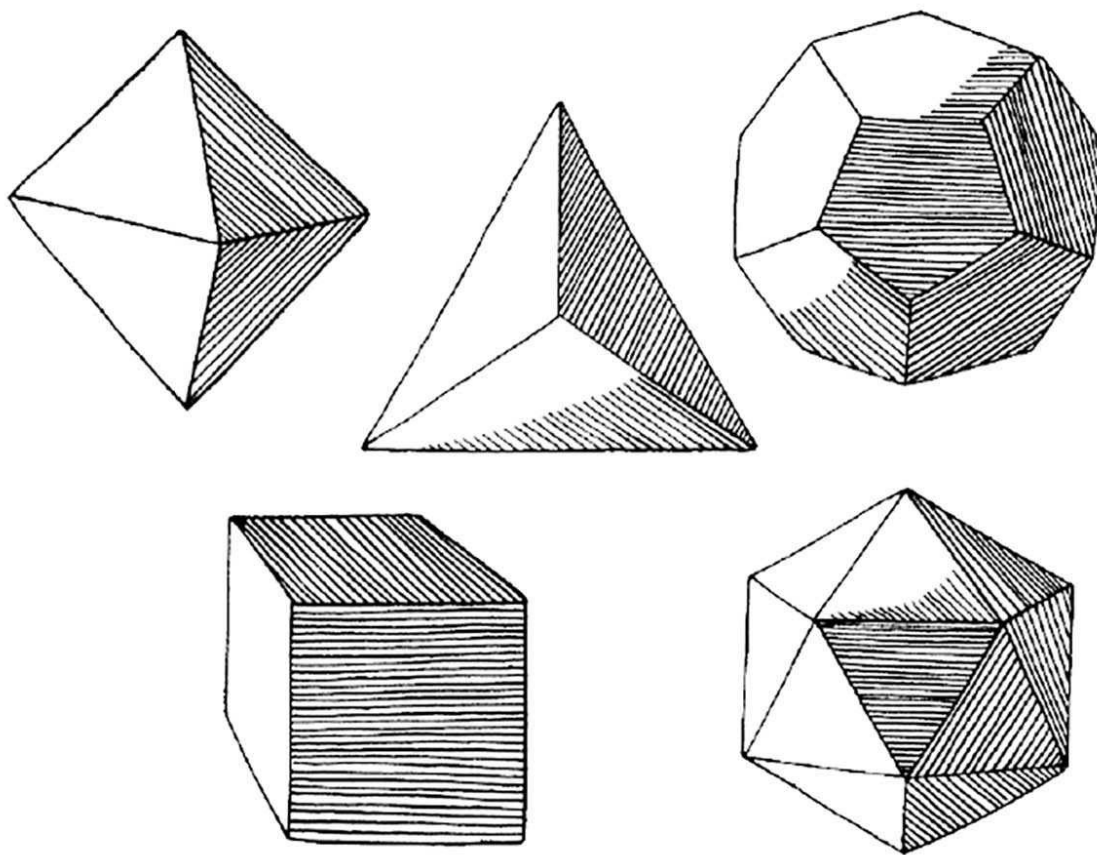
Em meio aos arroubos matemáticos de Kepler, e apesar de sua vida sequestrada, as imperfeições do mundo do lado de fora também devem ter moldado seu caráter. A superstição era uma panaceia disponível em larga escala para pessoas que se sentiam impotentes ante as misérias da fome, da peste e de um fatal conflito doutrinário. Para muitos, a única certeza estava nas estrelas, e os antigos conceitos astrológicos prosperavam nos pátios e tabernas de uma Europa assombrada pelo medo. Kepler, cuja atitude em relação à astrologia permaneceu ambígua durante toda a sua vida, se perguntava se poderia haver modelos ocultos subjacentes ao aparente caos da vida cotidiana. Se o mundo fora feito pela mão de Deus, Ele não devia tê-lo examinado minuciosamente? Não seria toda a criação uma expressão das harmonias na mente de Deus? O livro da natureza estivera esperando mais de um milênio por um leitor.

Em 1589 Kepler deixou Maulbronn a fim de estudar para o clero na grande universidade em Tübingen, e viu nisso uma libertação. Confrontado pelas mais vívidas correntes intelectuais da época, seu gênio logo foi reconhecido por seus professores — um dos quais introduziu o jovem nos perigosos mistérios da hipótese copernicana. A ideia de um universo heliocêntrico encontrou ressonância no sentimento religioso de Kepler e ele a abraçou com fervor. O Sol era uma metáfora de Deus, em torno de Quem gira todo o resto. Antes de ter sido ordenado, ele recebeu uma oferta atraente para um emprego secular, a qual — talvez porque não se considerasse adequado o bastante para uma carreira eclesiástica — acabou aceitando. Foi convocado para Graz, na Áustria, para ensinar matemática numa escola secundária, e pouco depois começou a preparar almanaques astronômicos e meteorológicos e a fazer horóscopos. “Deus provê a todo animal seus meios de subsistência”, escreveu. “Para o astrônomo, Ele proveu a astrologia.”

Kepler foi um escritor brilhante e um pensador lúcido, mas um desastre como professor em sala de aula. Ele fazia digressões. Às vezes soava incompreensível. Teve apenas um punhado de alunos em seu primeiro ano em Graz. No ano seguinte, nenhum. Era perturbado por um incessante clamor interior de associações e especulações que disputavam sua atenção. E numa agradável tarde de verão, mergulhado nos interstícios de uma de suas intermináveis aulas, assomou-lhe uma revelação que iria alterar de modo radical o futuro da astronomia. Talvez tenha se interrompido no meio de

uma sentença. Desconfio que seus desatentos alunos, ansiando que o dia terminasse, não perceberam o momento histórico.

Na época de Kepler havia apenas seis planetas conhecidos: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. Ele se perguntou por que seriam apenas seis. Por que não haveria vinte, ou cem? Por que tinham entre suas órbitas a distância que Copérnico havia deduzido? Jamais alguém fizera antes essas perguntas. Sabia-se que existiam cinco sólidos regulares, ou "platônicos", cujas faces eram polígonos regulares, conhecidos dos antigos matemáticos gregos após a época de Pitágoras. Kepler pensou que esses números estivessem conectados e que o *motivo* pelo qual só havia seis planetas era que só havia cinco sólidos regulares, e que esses sólidos, inscritos ou encaixados uns nos outros, especificariam as distâncias desses planetas ao Sol. Nessas formas perfeitas, ele acreditava ter reconhecido as estruturas invisíveis que sustentavam as esferas dos seis planetas. Chamou essa revelação de Mistério Cósmico. A conexão entre os sólidos de Pitágoras e a disposição dos planetas só admitia uma explicação: a Mão de Deus, o Geômetra.

Kepler ficou espantado com o fato de que ele — imerso, assim achava, em pecado — teria sido divinamente escolhido para fazer essa grande descoberta. Submeteu uma proposta com um pedido de subvenção ao duque de Württemberg, oferecendo-se para supervisionar a construção desses sólidos encaixados como um modelo tridimensional, de modo que outros pudessem vislumbrar a beleza da sagrada geometria. Poderia, acrescentou ele, ser feito de prata e pedras preciosas, e servir, aliás, como cálice ducal. A proposta foi rejeitada junto com a gentil sugestão de que Kepler primeiro construísse uma versão menos dispendiosa em papel, o que ele logo tentou fazer:

Os cinco sólidos perfeitos de Pitágoras e Platão. Veja o apêndice 2.

> O prazer intenso que senti com essa descoberta jamais poderia ser expresso em palavras [...]. Não me esquivei a qualquer cálculo, não importa quão difícil fosse. Passei dias e noites em labores matemáticos, até poder verificar se minha hipótese coincidiria com as órbitas de Copérnico ou minha alegria ia se desvanecer no ar.

Mas, não importava com quanto afinco ele tentasse, os sólidos e as órbitas planetárias não se ajustavam bem. A elegância e a grandeza da teoria, no entanto, o convenceram de que a observação é que devia estar errada, conclusão que se tira quando as observações não têm o beneplácito de muitos outros teóricos na história da ciência. Havia então um único homem no mundo que tinha acesso a observações mais acuradas das posições aparentes dos planetas, um nobre dinamarquês autoexilado que aceitara o posto de matemático imperial na corte do sacro imperador romano Rodolfo II. Esse homem era Tycho Brahe. Por acaso, a uma sugestão de Rodolfo, ele acabara de convidar Kepler, cuja fama como matemático estava crescendo, a vir se juntar a ele em Praga.

Professor provinciano de origem humilde, desconhecido de todos a não ser de uns poucos matemáticos, Kepler reagiu com timidez ao convite de Tycho. Mas a decisão foi tomada à sua revelia. Em 1598, um dos muitos tremores premonitórios da futura Guerra dos Trinta Anos o envolveu. O arquiduque católico local, cheio de resoluta e dogmática certeza, jurou que preferia "fazer do país um deserto a governar hereges".[5] Protestantes foram excluídos do poder econômico e político, a escola de Kepler foi fechada, e preces, livros e hinos considerados heréticos foram

proibidos. Por fim, a população da cidade foi submetida a exames individuais para se avaliar a firmeza de suas convicções religiosas privadas; os que se recusavam a professar a fé católica romana eram multados em um décimo de seus proventos e, sob ameaça de morte, exilados para sempre de Graz. Kepler preferiu o exílio. "Hipocrisia eu nunca aprendi. E sou sério em relação à fé. Não brinco com ela."

Deixando Graz, Kepler, a mulher e a enteada começaram uma difícil jornada até Praga. Não era um casamento feliz. Sempre doente, tendo perdido havia pouco dois filhos jovens, sua esposa era descrita como "obtusa, birrenta, solitária, melancólica". Não compreendia qual era o trabalho do marido e, tendo sido criada na baixa aristocracia rural, menosprezava sua profissão de baixa renda. Ele, de sua parte, ora a admoestava, ora a ignorava, "pois meus estudos às vezes me distraíam; mas aprendi minha lição, aprendi a ter paciência com ela. Quando via que ela se aborrecia com minhas palavras, eu preferia morder meu dedo a magoá-la ainda mais". Mas Kepler continuava preocupado com o trabalho.

Ele viu nos domínios de Tycho um refúgio dos males da época, o lugar em que seu Mistério Cósmico seria confirmado. Aspirava a tornar-se um colega do grande Tycho Brahe, o qual durante 35 anos se havia dedicado, antes da invenção do telescópio, à medição de um universo mecânico, ordenado e preciso. As expectativas de Kepler não se realizariam. O dinamarquês era uma figura exuberante, ornado com uma prótese de nariz dourada, tendo perdido o original num duelo entre estudantes, travado para decidir quem era o melhor matemático. Em torno dele havia um estridente séquito de assistentes, impostores, parentes distantes e todo tipo de parasita. Sua folia interminável, suas insinuações e intrigas, sua cruel zombaria dirigida àquele caipira devoto e erudito deprimiram e entristeceram Kepler: "Tycho [...] é riquíssimo, mas não sabe como fazer uso disso. Qualquer um de seus instrumentos custa mais do que meus haveres e os de toda a minha família juntos".

Impaciente para ver os dados astronômicos de Tycho, Kepler só ganhou acesso a alguns fragmentos de cada vez.

> Tycho não me deu oportunidade para participar de suas experiências. A única coisa que fazia era, durante uma refeição, e entre outros assuntos, mencionar, como que de passagem, hoje a figura do apogeu de um planeta, amanhã os nodos de outro [...]. Tycho dispõe das melhores observações [...]. Também tem colaboradores; falta-lhe apenas um arquiteto que ponha tudo isso para funcionar.

Tycho foi o maior gênio observacional da época e Kepler, o maior teórico. Cada um deles sabia que, sozinho, não seria capaz de alcançar a síntese de um sistema mundial que fosse acurada e coerente, e que ambos sabiam ser iminente. Mas Tycho não estava a fim de dar de presente a obra de sua vida a um rival em potencial muito mais jovem. Uma autoria conjunta dos resultados, se houvesse algum, dessa colaboração seria por alguma razão inaceitável. O nascimento da ciência moderna — fruto da teoria e da observação — vacilava no precipício da mútua desconfiança entre ambos. Nos dezoito meses de vida que restavam a Tycho, os dois brigavam e se reconciliavam vezes sem conta. Num jantar oferecido pelo barão de Rosenberg, tendo Tycho bebido muito vinho, "pôs a civilidade acima da saúde" e resistiu às urgências corporais para se ausentar, nem que fosse por um momento, da

presença do barão. A consequente infecção urinária piorou quando ele rejeitou, resoluto, um conselho de que se moderasse na comida e na bebida. Em seu leito de morte, Tycho legou suas observações a Kepler e "na última noite de seu gentil delírio ele repetiu várias vezes estas palavras, como alguém que compusesse um poema: 'Que eu não pareça ter vivido em vão… Que eu não pareça ter vivido em vão'".

Após a morte de Tycho Brahe, Kepler, agora o novo matemático imperial, conseguiu arrancar as observações do predecessor de sua recalcitrante família. A conjectura de que as órbitas dos planetas eram circunscritas pelos cinco sólidos platônicos não encontraram nos dados de Tycho mais sustentação do que nos de Copérnico. Seu "Mistério Cósmico" foi refutado pelas descobertas muito posteriores dos planetas Urano, Netuno e Plutão — sem que houvesse sólidos platônicos adicionais[6] que determinassem suas distâncias ao Sol. Os sólidos pitagóricos encaixados também não abriam espaço para a existência da lua da Terra, e a descoberta, por Galileu, de quatro grandes luas de Júpiter também discrepava do modelo. Mas longe de ficar de mau humor por causa disso, Kepler quis descobrir satélites adicionais, perguntando-se quantos satélites um planeta poderia ter. Ele escreveu a Galileu:

> De imediato comecei a pensar como seria possível haver um acréscimo no número de planetas sem derrubar meu Mysterium Cosmographicum, segundo o qual os cinco sólidos regulares de Euclides não permitem que haja mais de seis planetas em torno do Sol [...]. Estou tão longe de desacreditar a existência dos quatro planetas em torno de Júpiter que desejo dispor de um telescópio, para, se possível, me antecipar a você na descoberta de dois em torno de Marte, como parece exigir a proporção, seis ou oito em torno de Saturno, e talvez um em torno de Mercúrio e um em torno de Vênus.

Marte tem de fato duas pequenas luas e uma grande formação geológica na maior delas é hoje chamada de cordilheira Kepler, em homenagem a esse seu palpite. Mas ele estava enganado em relação a Saturno, Mercúrio e Vênus, e Júpiter tem muito mais luas do que as que Galileu descobriu. Na verdade, ainda não sabemos por que só existem mais ou menos nove** planetas, nem por que suas distâncias relativas ao Sol são como são. (Veja o capítulo 8.)

As observações de Tycho Brahe sobre o movimento aparente de Marte e outros planetas em relação às constelações foram feitas durante um período de muitos anos. Esses dados, das poucas décadas imediatamente anteriores à invenção do telescópio, eram os mais precisos entre os que tinham sido obtidos até então. Kepler trabalhou intensa e apaixonadamente para compreendê-los: que movimento real da Terra e de Marte em relação ao Sol poderia explicar, na precisão das medidas coletadas, o movimento aparente de Marte no céu, incluindo os loops de retrocesso contra o pano de fundo das constelações? Tycho tinha recomendado a Kepler que estudasse Marte porque seu movimento aparente parecia ser anômalo, muito difícil de conciliar com uma órbita de formato circular. (Para o leitor que poderia se aborrecer com seus muitos cálculos, ele escreveu mais tarde: "Se você está cansado desse procedimento entediante, tenha pena de mim, que fiz pelo menos setenta tentativas".)

Pitágoras, no século VI a.C., Platão, Ptolomeu e todos os astrônomos cristãos antes de Kepler tinham suposto que os planetas se moviam em trajetórias circulares. O círculo era tido como a forma geométrica "perfeita", e os planetas, situados bem alto nos céus, longe da "corrupção" terrena, também eram tidos, em algum sentido místico, como "perfeitos". Galileu, Tycho Brahe e

Copérnico estavam todos comprometidos com a ideia de um movimento planetário circular e uniforme, tendo este último afirmado que "a mente estremece" ante uma alternativa a esse conceito, porque "seria indigno supor tal coisa numa Criação concebida da melhor maneira possível". Assim, no início Kepler tentou explicar as observações imaginando que a Terra e Marte se moviam em órbitas circulares em torno do Sol.

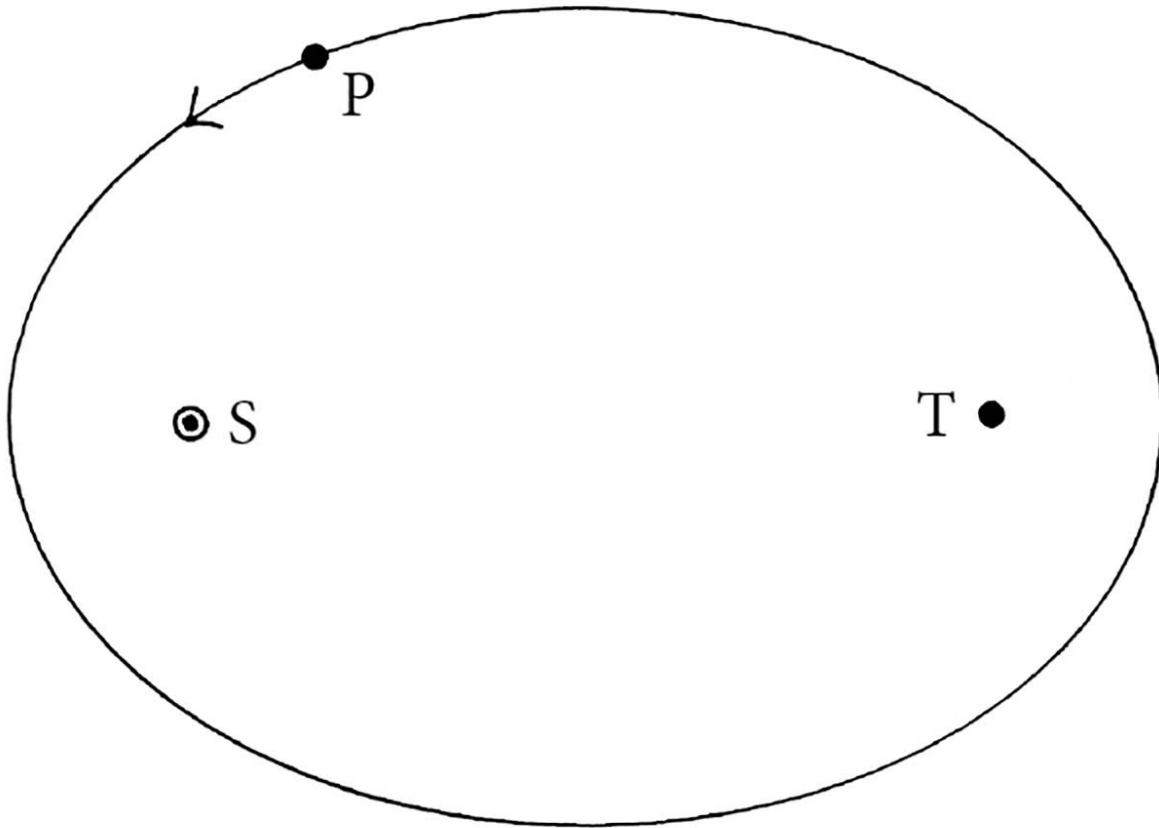
Após três anos de cálculos, ele acreditou ter encontrado os valores corretos para uma órbita marciana circular, que concordavam com dez das observações de Tycho com uma margem de dois minutos de arco. Bem, há sessenta minutos de arco em um grau e noventa graus, um ângulo reto, do horizonte ao zênite. Assim, alguns minutos de arco é uma quantidade muito pequena para se medir — sobretudo sem um telescópio. Corresponde a um quinze avos do diâmetro angular da Lua cheia, como vista da Terra. Mas o renovável êxtase de Kepler logo se desfez em melancolia, pois duas das observações subsequentes de Tycho eram inconsistentes com a órbita circular em nada menos que em oito minutos de arco:

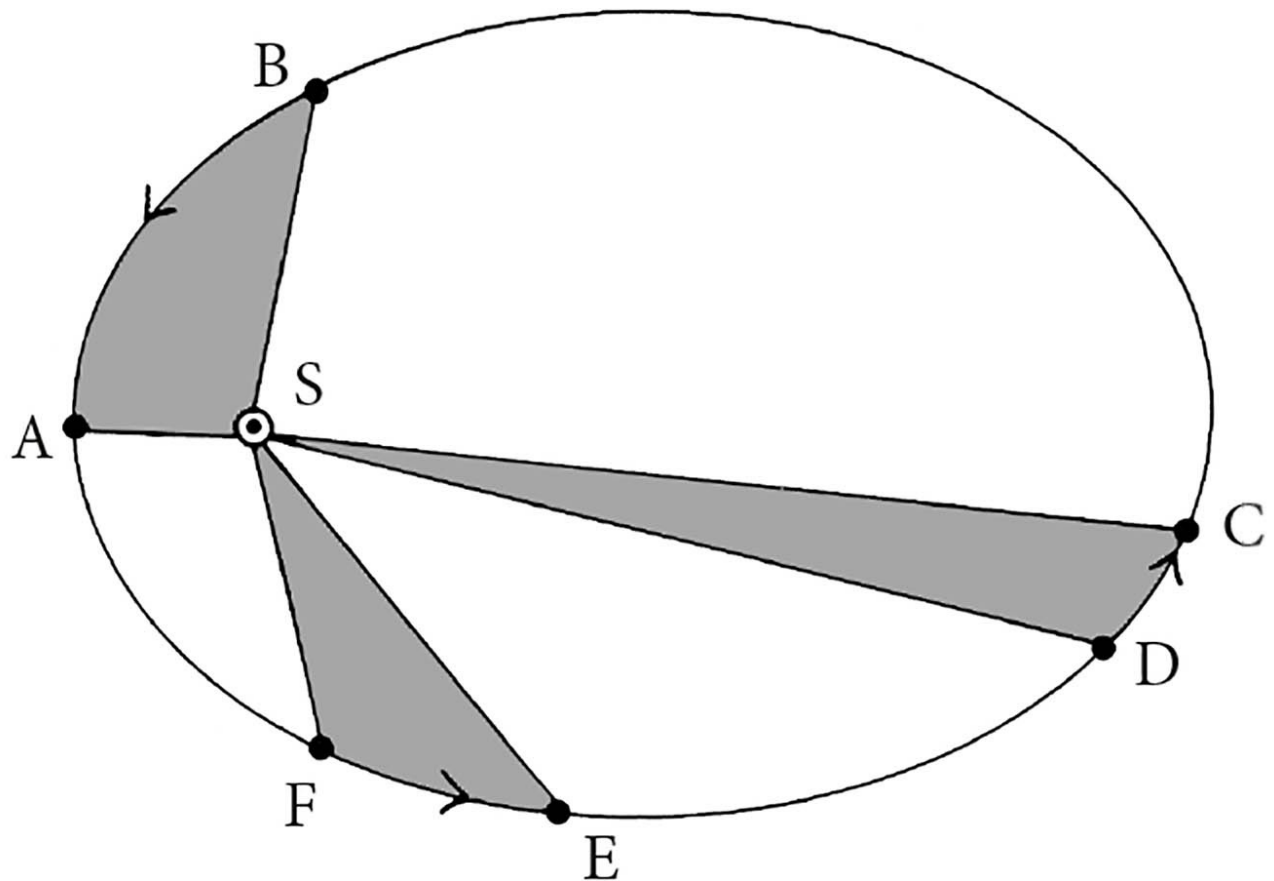
> A Divina Providência nos ofereceu, com Tycho Brahe, um observador tão diligente que suas observações condenaram esse [...] cálculo com um erro de oito minutos; o certo é que devemos aceitar a dádiva de Deus com a mente agradecida [...]. Se eu tivesse acreditado que podia ignorar esses oito minutos, teria corrigido minha hipótese de acordo com isso. Porém, como não é permissível que se ignore, esses oito minutos mostram o caminho para uma reforma completa da astronomia.

A diferença entre uma órbita circular e a órbita verdadeira só pode ser distinguida mediante uma medição precisa e uma corajosa aceitação dos fatos: "O universo está estampado com o adorno de proporções harmoniosas, mas harmonias devem comportar a experiência". Kepler ficou estremecido por ter de abandonar o conceito de órbita circular, questionando com isso sua fé no Divino Geômetra. Tendo limpado as cavalariças da astronomia de círculos e de espirais, restava-lhe apenas, disse ele, "um único carrinho com estrume", um círculo alongado, algo como uma oval.

Mais tarde, Kepler começou a perceber que seu fascínio pelo círculo tinha sido uma ilusão. A Terra era um planeta, como dissera Copérnico, e para o astrônomo alemão era óbvio que a Terra, assolada por guerras, pestilência, fome e infelicidade, estava muito longe da perfeição. Kepler foi uma das primeiras pessoas, desde a Antiguidade, a propor que os planetas eram objetos materiais feitos de substância imperfeita, assim como a Terra. E se os planetas eram "imperfeitos", por que não o seriam também suas órbitas? Tentou várias curvas ovaladas, fez cálculos, cometeu alguns erros aritméticos (o que de início o levou a rejeitar a resposta correta) e meses depois, já com certo desespero, tentou a fórmula de uma elipse, que fora codificada pela primeira vez na Biblioteca de Alexandria por Apolônio de Perga. Descobriu que ela correspondia lindamente às observações de Tycho: "A verdade da natureza, que eu tinha rejeitado e descartado, retornou de maneira dissimulada pela porta dos fundos, disfarçando-se para ser aceita [...]. Ah, que pássaro insensato eu fui!".

Kepler tinha descoberto que Marte gira em torno do Sol não em um círculo, e sim numa elipse. Os outros planetas têm órbitas muito menos elípticas que a de Marte, e se Tycho o tivesse instado a estudar o movimento de, digamos, Vênus, Kepler poderia nunca ter descoberto as verdadeiras órbitas dos planetas. Numa órbita com esse formato, o Sol não está no centro, e sim deslocado, num

dos focos da elipse. Quando um dado planeta está em seu ponto mais próximo do Sol, ele acelera seu movimento. Quando no ponto mais distante, desacelera. É devido a esse movimento que dizemos que os planetas estão sempre indo em direção, mas nunca chegando, ao Sol. A primeira lei de Kepler do movimento planetário é simples assim: Um planeta move-se numa elipse com o Sol em um dos focos.

Primeira lei de Kepler: Um planeta (P) move-se numa elipse com o Sol (S) em um dos dois focos.

Num movimento circular uniforme, ângulos iguais, ou seja, frações iguais de arco de círculo, são percorridos em tempos iguais. Assim, por exemplo, percorrer dois terços do círculo leva duas vezes o tempo para percorrer um terço. Kepler descobriu algo diferente nas órbitas elípticas: à medida que um planeta percorre sua órbita, ele varre o interior da elipse formando com o foco uma figura imaginária em forma de cunha. Quando está próximo do Sol, num dado período ele percorre um arco mais extenso, porém a *área* que ele varre naquele arco não é muito grande, porque está próximo do Sol. Quando o planeta está distante do Sol, ele percorre um arco menor naquele mesmo tempo, mas a área varrida parece maior. Kepler descobriu que essas duas áreas são exatamente as mesmas, não importa quão elíptica seja a órbita: a longa e estreita área que corresponde ao arco percorrido longe do Sol e a área mais curta, achatada, de quando o planeta está próximo do Sol são iguais. Esta é a segunda lei de Kepler do movimento planetário: os planetas varrem áreas iguais em tempos iguais.

Segunda lei de Kepler: Um planeta ao se mover varre áreas iguais em tempos iguais. O tempo para ir de B a A é igual aos tempos para ir de F a E e de D a C; e as áreas das regiões sombreadas BSA, FSE e DSC são todas iguais.

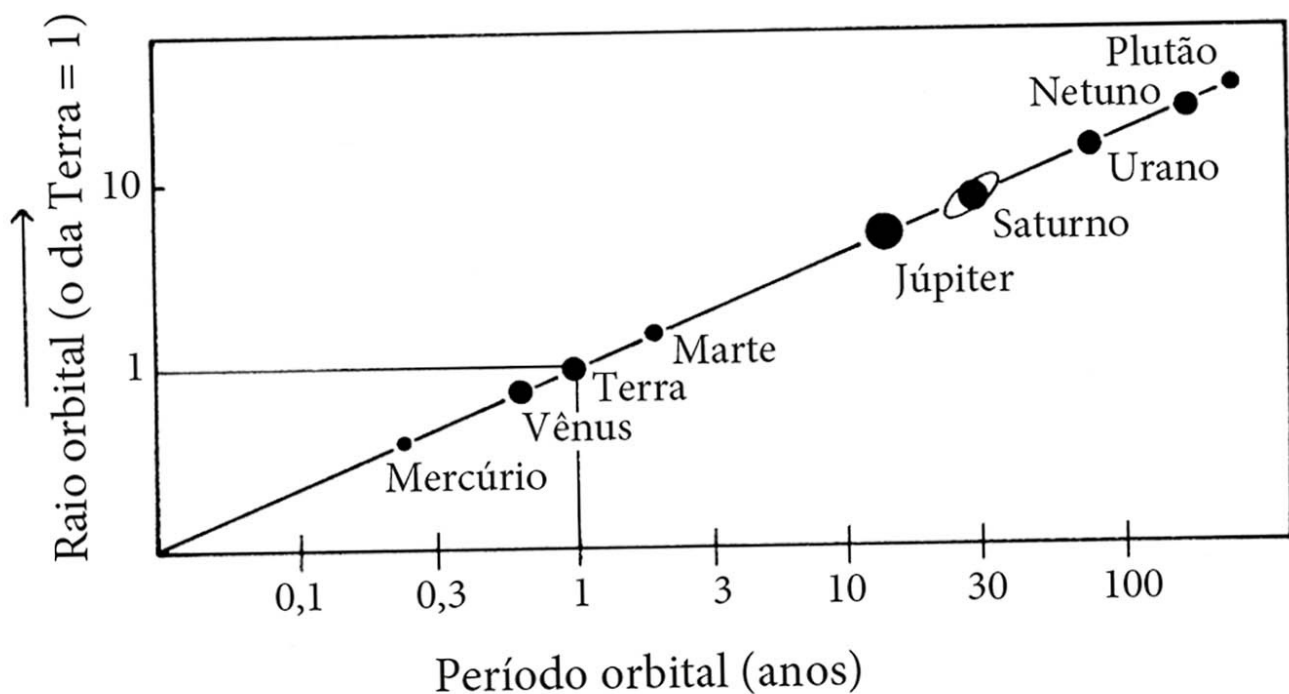
As duas primeiras leis de Kepler podem parecer um pouco remotas e abstratas: planetas movem-se em elipses e varrem áreas iguais em tempos iguais. Bem, e daí? O movimento circular é mais fácil de assimilar. Pode ser que tenhamos a tendência de menosprezar essas leis como mero artifício matemático, alheio à vida cotidiana. Mas essas são as leis às quais nosso planeta obedece, enquanto nós mesmos, grudados pela gravidade à superfície da Terra, somos projetados no espaço interplanetário. Nós nos movimentamos de acordo com as leis da natureza que Kepler descobriu. Quando enviamos uma nave espacial para os planetas, quando observamos estrelas duplas, quando examinamos o movimento de galáxias distantes, descobrimos que por todo o universo as leis de Kepler são obedecidas.

Muitos anos depois, Kepler apresentou sua terceira e última lei do movimento planetário, que relaciona os movimentos dos diferentes planetas entre si e estabelece de maneira correta a mecânica do sistema solar. Ele a descreveu num livro chamado *As harmonias do mundo*. Kepler entendia muitas coisas da palavra *harmonia*: a ordem e a beleza do movimento dos planetas, a existência de leis matemáticas que explicavam esse movimento — ideia que remonta a Pitágoras — e mesmo a harmonia no sentido musical, a “harmonia das esferas”. Ao contrário das órbitas de Mercúrio e de Marte, as de outros planetas diferem tão pouco da circularidade que não se consegue traçar seus verdadeiros formatos nem mesmo num diagrama de extrema precisão. A Terra é nossa plataforma móvel da qual observamos o movimento de outros planetas contra o fundo das constelações

distantes. Os planetas interiores movem-se rápido em suas órbitas — é a razão de o mais veloz deles ter esse nome: Mercúrio era o mensageiro dos deuses. Vênus, a Terra e Marte movimentam-se respectivamente com cada vez menos velocidade em relação ao Sol. Os planetas exteriores, como Júpiter e Saturno, movem-se majestosa e lentamente, como convém aos reis dos deuses.

A terceira lei de Kepler, ou lei harmônica, declara que o quadrado do período de um planeta (do tempo que leva para completar uma órbita) é proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol; quanto mais distante um planeta, mais devagar ele se move, porém, de acordo com uma lei matemática precisa: $P^2 = a^3$, em que P representa o período de revolução do planeta em torno do Sol, medido em anos, e a a distância média do planeta ao Sol, medida em "unidades astronômicas". Uma unidade astronômica é a distância da Terra ao Sol. Júpiter, por exemplo, está a cinco unidades astronômicas do Sol, e $a^3 = 5 \times 5 \times 5 = 125$. Qual é o número que multiplicado por si mesmo ao quadrado é igual a 125? Bem, 11 está bem próximo disso. E onze anos é o período em que Júpiter completa uma volta em torno do Sol. O mesmo argumento se aplica a todo planeta, asteroide e cometa.

Não satisfeito com ter meramente extraído da natureza as leis do movimento planetário, Kepler empenhou-se por encontrar uma causa subjacente ainda mais fundamental, a que envolvia alguma influência do Sol na cinemática dos mundos. Os planetas aceleram seu movimento quando se aproximam do Sol e desaceleram quando se afastam dele. De alguma forma os planetas distantes sentem a presença do Sol. O magnetismo também era uma influência sentida à distância, e, numa assombrosa antecipação à ideia da gravitação universal, Kepler sugeriu que a causa subjacente era análoga ao magnetismo.

> Meu objetivo é demonstrar que a máquina celestial deve estar conectada não a um organismo divino, mas a uma causa mecânica [...] na medida em que todos os múltiplos movimentos são realizados por meio de uma única e bem simples força magnética, como no caso de um mecanismo de relógio [no qual] todos os movimentos [são causados] por um simples peso.

A terceira Lei de Kepler, ou harmônica, estabelece uma conexão precisa entre o tamanho

da órbita de um planeta e o período no qual ele dá uma volta completa ao redor do Sol. Ela se aplica claramente a Urano, Netuno e Plutão, que foram descobertos muito depois da morte de Kepler.

Magnetismo, é claro, não é a mesma coisa que gravidade, mas a inovação fundamental de Kepler aqui não é menos espantosa: ele propôs que as leis físicas quantitativas que se aplicam à Terra são também subjacentes às leis físicas quantitativas que governam os céus. Foi a primeira explicação não mística do movimento nos céus; fez da Terra uma província do cosmos. "A astronomia", disse ele, "é parte da física." Kepler encontrava-se num ponto de inflexão da história; o último astrólogo científico foi o primeiro astrofísico.

Não muito dado a declarações vagas e comedidas, Kepler referiu-se a suas descobertas com estas palavras:

> Com essa sinfonia de vozes o homem pode percorrer a eternidade do tempo em menos de uma hora e pode saborear numa pequena medida a delícia de Deus, o Artista Supremo [...]. Submeto-me livremente ao sagrado frenesi [...] o dado está lançado, e escrevo este livro — para que seja lido agora ou pela posteridade, não importa. Ele pode esperar um século por um leitor, como o Próprio Deus esperou 6 mil anos por um testemunho.

Dentro dessa "sinfonia de vozes", Kepler acreditava que a velocidade de cada planeta correspondia a certas notas na escala musical alatinada, popular em sua época — dó, ré, mi, fá, sol, lá, si, dó. Alegou que na harmonia das esferas os tons da Terra eram fá e mi, que a Terra estava sempre cantarolando fá e mi, e que essas notas formavam a palavra latina que significa "fome". Argumentou, não sem alguma razão, que essa única e dolorosa palavra era a que melhor descrevia a Terra.

Oito dias após a descoberta por Kepler de sua terceira lei, transpirou em Praga o incidente que desencadeou a Guerra dos Trinta Anos. As convulsões da guerra abalaram a vida de milhões de pessoas, entre elas a de Kepler. Ele perdeu a mulher e o filho para uma epidemia transmitida pela soldadesca, seu patrão real foi deposto e ele foi excomungado pela Igreja luterana por seu irreconciliável individualismo em questões de doutrina. Kepler era mais uma vez um refugiado. O conflito, descrito tanto por católicos quanto por protestantes como uma guerra santa, foi mais uma exploração de fanatismo religioso por quem estava sequioso por terras e poder. No passado, as guerras tendiam a ser resolvidas quando os príncipes beligerantes esgotavam seus recursos. Mas agora fora introduzida a pilhagem organizada como meio de manter os exércitos no campo de batalha. A combalida população da Europa viu, impotente, seus arados e podões serem convertidos em espadas e lanças.[7]

Ondas de boatos e de paranoia varriam o campo, envolvendo sobretudo os que não dispunham de força ou poder. Entre os muitos bodes expiatórios escolhidos estavam as mulheres idosas que moravam sozinhas, que foram acusadas de bruxaria: a mãe de Kepler foi levada no meio da noite num baú de roupa suja. Na cidadezinha onde ele nascera, Weil der Stadt, mais ou menos três mulheres foram torturadas e mortas como bruxas todo ano, entre 1615 e 1629. E Katharina Kepler era uma velha intratável. Ela se envolvia em disputas que incomodavam a nobreza local e vendia soporíferos, e talvez drogas alucinógenas, como fazem as *curanderas* mexicanas contemporâneas. O

pobre Kepler pensou que ele mesmo tinha contribuído para a sua prisão.

Isso lhe ocorreu porque ele tinha escrito uma das primeiras obras de ficção científica, que tencionava explicar e popularizar a ciência. Seu título era *Somnium*, “O sonho”. Kepler tinha imaginado uma jornada até a Lua, os passageiros espaciais de pé no solo lunar, observando o adorável planeta Terra girando com suavidade no céu acima deles. Mudando de perspectiva, podemos conceber como os mundos funcionam. Na época de Kepler, uma das principais objeções à ideia de que a Terra girava era o fato de as pessoas não perceberem esse movimento. Em *Somnium* ele tentou fazer da rotação da Terra algo plausível, dramático, compreensível: “Contanto que as multidões não errem [...] quero estar no lado da maioria. Assim, faço grandes esforços para explicar ao maior número de pessoas possível”. (Em outra ocasião ele escreveu numa carta: “Não me sentenciem totalmente ao ramerrão dos cálculos matemáticos — deixem-me um tempo para especulações filosóficas, meu único deleite”.)[8]

Com a invenção do telescópio, aquilo que Kepler chamou de “geografia lunar” estava se tornando possível. Em *Somnium*, ele descreveu a Lua como cheia de montanhas e vales, e “porosa, como se fosse cavada de buracos e contínuas cavernas”, referência às crateras lunares que Galileu tinha descoberto havia pouco com o primeiro telescópio astronômico. Fantasiou também que a Lua tinha seus habitantes, bem adaptados às inclemências do ambiente local. Descreve a lenta rotação da Terra vista da superfície lunar e idealiza os continentes e oceanos de nosso planeta a fim de produzir alguma imagem associativa, como a do Homem na Lua.*** Ele visualiza o contato próximo entre o Sul da Espanha e o Norte da África no estreito de Gibraltar como uma jovem num vestido esvoaçante prestes a beijar seu amado — conquanto a mim pareça mais um esfregar de narizes.

Devido à duração do dia e da noite lunares, Kepler descreveu a “grande intemperança do clima e a mais violenta alternância entre calor e frio extremos na Lua”, o que é correto. Claro que nem tudo que concluiu é verdadeiro. Ele acreditou, por exemplo, que havia ali uma substancial atmosfera, oceanos e habitantes. Mais curiosa é sua visão da origem das crateras lunares, que tornam a Lua, segundo diz, “não dessemelhante do rosto de um menino desfigurado pela varíola”. Ele alegou, corretamente, que as crateras eram depressões, e não elevações. De suas próprias observações, notou as verdadeiras muralhas que circundam muitas crateras e a existência de picos no centro. Mas pensou que seu formato circular regular implicava tal nível de ordem que apenas a existência de uma vida inteligente poderia explicá-las. Não se deu conta de que grandes rochas que caíam do céu poderiam produzir uma explosão local, perfeitamente simétrica em todas as direções, o que entalharia uma cavidade circular — origem do grande número de crateras na Lua e em outros planetas de superfície sólida. Deduziu, em vez disso, “a existência de alguma raça racionalmente capaz de construir aquelas cavidades na superfície da Lua. Essa raça deve ter muitos indivíduos, de modo que um grupo começa a se utilizar de uma cavidade enquanto outro grupo constrói outra”. Contrapondo-se à ideia de que esses grandes projetos de construção eram improváveis, Kepler ofereceu como contraexemplo as pirâmides do Egito e a Grande Muralha da China, que, de fato, podem ser vistas hoje de uma órbita em torno da Terra. A ideia de que uma ordenação geométrica revela uma inteligência subjacente foi central na vida de Kepler. Seu argumento em relação às crateras lunares é uma clara antecipação da controvérsia quanto aos canais de Marte (capítulo 5).

Impressiona o fato de que a busca observacional por vida extraterrestre começou na mesma geração da invenção do telescópio e com o maior teórico da época.

Há partes em *Somnium* claramente autobiográficas. Por exemplo, o herói visita Tycho Brahe. Seus pais vendem drogas. Sua mãe associa-se a espíritos e demônios, um dos quais, mais tarde, lhe provê os meios para viajar para a Lua. *Somnium* deixa evidente para nós, embora não tenha deixado evidente para todos os contemporâneos de Kepler, que "num sonho deve ser permitida a liberdade de vez ou outra imaginar o que nunca existiu no mundo da percepção sensorial". A ficção científica era uma ideia nova na época da Guerra dos Trinta Anos, e o livro de Kepler foi usado como indício de que sua mãe era bruxa.

Em meio a outros graves problemas pessoais, Kepler correu para Württemberg e encontrou a mãe, de 74 anos, acorrentada numa masmorra secular protestante e ameaçada, como Galileu numa masmorra católica, de tortura. Ele tentou, como seria de esperar de todo cientista, encontrar explicações naturais para os vários acontecimentos que tinham precipitado as acusações de bruxaria, entre eles as doenças físicas que os burgueses de Württemberg tinham atribuído a seus encantamentos. A pesquisa foi bem-sucedida, um triunfo, como muito do restante de sua vida, o da razão sobre a superstição. Sua mãe foi exilada, com a sentença de morte a que foi condenada caso voltasse a Württemberg; e a inspirada defesa de Kepler ao que tudo indica levou a um decreto do duque que proibia mais julgamentos de bruxaria baseados em provas tão escassas.

As reviravoltas da guerra privaram Kepler de grande parte de seu apoio financeiro e ele passou o final de sua vida em busca de dinheiro e patrocinadores. Fazia horóscopos para o duque de Wallenstein, como tinha feito para Rodolfo II, e passou seus últimos anos numa cidade da Silésia controlada por Wallenstein, chamada Sagan. Seu epitáfio, que ele mesmo redigiu, era: "Medi os céus, agora meço as sombras. A mente estava ligada aos céus, ligado à Terra jaz o corpo". Porém a Guerra dos Trinta Anos obliterou seu túmulo. Se um marco fosse hoje erigido, nele se poderia ler, em homenagem a sua coragem científica: "Ele preferiu a dura verdade a suas mais caras ilusões".

Johannes Kepler acreditava que um dia haveria "navios celestiais com velas adaptadas aos ventos do firmamento" navegando pelo céu, cheias de exploradores "que não teriam medo da vastidão" do espaço. E hoje esses exploradores, humanos e robóticos, usam como guias infalíveis em suas viagens pela vastidão do espaço as três leis do movimento planetário que Kepler revelou durante uma vida de labuta pessoal e extáticas descobertas.

* * *

A busca da vida inteira de Johannes Kepler, por compreender o movimento dos planetas e encontrar uma harmonia nos céus, teve seu ponto culminante 36 anos após sua morte, na obra de Isaac Newton. Newton nasceu no dia de Natal de 1642, tão pequenino que, como sua mãe lhe contou anos depois, teria cabido numa caneca de um quarto de galão. Doentio, sentindo-se abandonado pelos pais, brigão, não sociável, virgem até o dia de sua morte, Isaac Newton foi talvez o maior gênio científico que já existiu.

Mesmo quando jovem, ficava impaciente com questões insubstanciais, como, por exemplo, se a luz era "uma substância ou um acidente", ou como a gravitação poderia atuar através do vazio. Ele

já tinha chegado à conclusão de que a crença convencional cristã na Trindade vinha de uma leitura errônea das Escrituras. Segundo seu biógrafo, John Maynard Keynes,

> ele era na verdade um monoteísta judaico da escola de Maimônides. Chegou a essa conclusão não, por assim dizer, numa base racional ou cética, mas por interpretação de uma autoridade antiga. Estava convencido de que os documentos revelados não davam sustentação às doutrinas trinitárias, que se deviam a falsificações posteriores. O Deus revelado era um Deus único. Mas isso era um segredo terrível, que Newton se esforçou desesperadamente por ocultar durante toda a sua vida.

Assim como Kepler, ele não estava imune às superstições da época e teve muitos encontros com o misticismo. De fato, grande parte do desenvolvimento intelectual de Newton pode ser atribuída a essa tensão entre racionalismo e misticismo. Na Feira de Stourbridge, em 1663, com vinte anos, ele adquiriu um livro sobre astrologia, "movido pela curiosidade de ver o que havia naquilo". Leu-o até chegar a uma ilustração que não conseguiu compreender, porque não conhecia trigonometria. Assim, adquiriu um livro sobre trigonometria, mas logo descobriu que era incapaz de acompanhar os argumentos geométricos. Encontrou um exemplar de *Elementos de geometria*, de Euclides, e começou a ler. Dois anos depois desenvolveu o cálculo diferencial.

Quando estudante, Newton ficou fascinado pela luz e fissurado pelo Sol. Cometeu a perigosa ação de observar a imagem do astro por um espelho:

> Em poucas horas eu tinha levado minha vista a um estado tal que, se olhava para um objeto claro, com qualquer um dos olhos, via o Sol diante de mim, e assim não estava ansioso para escrever nem ler, e sim para recuperar o uso de meus olhos, e me tranquei em meu quarto, no escuro, durante três dias seguidos, e usei de todos os meios para afastar minha imaginação do Sol. Pois se eu pensava nele via na hora sua imagem, mesmo estando no escuro.

Em 1666, com 23 anos, Newton era um universitário não graduado na Universidade de Cambridge, quando a irrupção de uma epidemia o obrigou a passar um ano em ociosidade na isolada vila de Woolsthorpe, onde nascera. Ocupou-se desenvolvendo o cálculo diferencial e integral, fazendo descobertas fundamentais sobre a natureza da luz e estabelecendo os fundamentos para a sua teoria da gravitação universal. O único outro ano comparável a esse na história da física foi o "Ano Milagroso" de Einstein, em 1905. Quando lhe perguntavam como tinha feito suas assombrosas descobertas, Newton sempre respondia: "Pensando sobre elas". Sua obra foi tão significativa que seu professor em Cambridge, Isaac Barrow, renunciou a sua cátedra de matemática em favor de Newton cinco anos após o jovem estudante ter voltado para a faculdade.

Newton, aos quarenta e poucos anos, foi descrito por seu criado da seguinte maneira:

> Nunca soube que ele tivesse qualquer recreação ou passatempo, seja sair para tomar ar, jogar boliche ou qualquer outro exercício, pensando que seriam horas perdidas todas aquelas que não passasse em seus estudos, com os quais se ocupava tanto que era raro deixar sua sala, a não ser [para dar aulas] no tempo aprazado [...] às quais tão poucos compareciam e menos ainda o entendiam que às vezes ele as dava, por falta de ouvintes, falando para as paredes.

Tanto os alunos de Kepler quanto os de Newton nunca souberam o que estavam perdendo.

Newton descobriu a lei da inércia, a tendência de um objeto em movimento continuar a se mover em linha reta, a menos que algo atue para fazê-lo mudar seu trajeto. A Lua, parecia-lhe, se deslocaria numa linha reta, tangente a sua órbita, se não houvesse outra força que constantemente a

desviasse para um círculo interior, puxando-a em direção à Terra. Essa força foi chamada por Newton de gravidade, e ele acreditava que ela atuava à distância. Em termos físicos, não havia nada que conectasse a Terra à Lua. E ainda assim a Terra está constantemente puxando a Lua em nossa direção. Usando a terceira lei de Kepler, Newton deduziu matematicamente a natureza da força gravitacional.[9] Ele demonstrou que a mesma força que atrai a maçã para a Terra mantém a Lua em órbita e é responsável pelas revoluções das então recém-descobertas luas de Júpiter em suas órbitas em torno do planeta distante.

As coisas vivem caindo desde o começo dos tempos. Sempre se acreditou, durante toda a história humana, que a Lua girava em torno da Terra. Newton foi o primeiro a imaginar que esses dois fenômenos eram devidos à mesma força. Esse é o sentido da palavra "universal" aplicada à gravitação newtoniana. Essa mesma lei da gravidade é aplicável a todo lugar no universo.

É a lei da razão inversa do quadrado. As forças declinam na razão inversa do quadrado das distâncias. Se dois objetos se afastam para o dobro da distância entre eles, a força da gravidade que agora atrai um para o outro equivale a um quarto da anterior. Se estão dez vezes mais distantes, a gravidade é dez ao quadrado, $10^2 = 100$, cem vezes menor. Claramente a força deve ser inversa à distância, isto é, diminui à medida que a distância aumenta. Se a razão fosse direta e não inversa, aumentando quando a distância aumenta, então a força atuaria mais intensamente entre os objetos mais distantes entre si, e suponho que toda a matéria no universo estaria sendo arrastada para um único caroço cósmico. Não, a gravidade deve diminuir quando a distância aumenta, motivo pelo qual um cometa ou um planeta se move mais devagar quando está longe do Sol, e mais rápido quando está próximo dele — a gravidade que sobre ele atua é mais fraca quanto mais afastado do Sol ele está.

Todas as três leis do movimento planetário de Kepler podem ser derivadas de princípios newtonianos. As leis de Kepler foram empíricas, baseadas nas meticulosas observações de Tycho Brahe. As leis de Newton foram teóricas, abstrações matemáticas bem simples, das quais todas as medições de Tycho poderiam afinal ser derivadas. Sobre essas leis, Newton escreveu com indisfarçado orgulho em *Principia*: "Agora estou demonstrando a estrutura do Sistema do Mundo".

Mais tarde na vida, Newton presidiu a Royal Society, uma confraria de cientistas, e foi o mestre da Casa da Moeda, onde dedicou suas energias à eliminação de falsificações na cunhagem. Seu mau humor e sua introversão aumentaram; ele resolveu abandonar esses empreendimentos científicos que o faziam se envolver em brigas e disputas com outros cientistas, sobretudo em questões de prioridade. E havia aqueles que espalhavam histórias de que ele tinha passado pelo que, no século XVII, equivalia e um "colapso nervoso". No entanto, Newton continuou com seus experimentos de uma vida inteira, na zona fronteiriça entre a alquimia e a química, e algumas evidências recentes sugerem que ele estava sofrendo não tanto de uma enfermidade psicogênica quanto de um grave envenenamento por metal, induzido por uma ingestão sistemática de pequenas quantidades de arsênico e mercúrio. Era prática comum entre os químicos da época usar o sentido do paladar como ferramenta de análise.

Assim mesmo, suas prodigiosas habilidades intelectuais continuaram imbatíveis. Em 1696, o matemático suíço Johann Bernoulli desafiou seus colegas a resolver um problema então insolúvel

chamado problema da braquistócrona, especificando a curva que conectava dois pontos dispostos lado a lado, ao longo da qual um corpo, sob ação apenas da gravidade, cairia no menor tempo possível. Bernoulli estipulou no início um prazo de seis meses, mas estendeu-o para um ano e meio a pedido de Leibniz, um dos principais sábios da época e o homem que tinha, independentemente de Newton, desenvolvido o cálculo diferencial e integral. O desafio chegou a Newton às quatro horas da tarde de 29 de janeiro de 1697. Antes de sair para o trabalho na manhã seguinte, ele havia criado um ramo novo da matemática chamado cálculo de variações, tinha-o empregado para resolver o problema da braquistócrona e enviado a solução, que foi publicada, a seu pedido, sem a identificação do autor. Mas o brilhantismo e a originalidade da obra traíram sua identidade. Quando Bernoulli viu a solução, comentou: "Reconhecemos o leão pelas suas garras". Newton tinha então 55 anos.

A principal busca intelectual de seus últimos anos foi a de uma concordância e calibração das cronologias das civilizações antigas, bem na tradição dos antigos historiadores Mâneton, Estrabão e Eratóstenes. Em sua última e póstuma obra, *The Chronology of Ancient Kingdoms Amended* [A cronologia dos reinos antigos corrigida], encontramos repetidas calibrações astronômicas de eventos históricos; uma reconstituição arquitetônica do Templo de Salomão; uma alegação provocativa de que todas as constelações do hemisfério norte devem seus nomes aos personagens, artefatos e eventos na história grega de Jasão e os Argonautas; e que as suposições consistentes de que deuses de todas as civilizações, com a única exceção do Deus de Newton, eram meramente reis e heróis antigos deificados por gerações posteriores.

Kepler e Newton representam uma transição crucial na história humana, a descoberta de que leis matemáticas bem simples impregnam toda a natureza; que as mesmas regras se aplicam tanto na Terra quanto nos céus; e que existe uma ressonância entre o modo como pensamos e o modo como o mundo funciona. Esses modos respeitam inflexivelmente a exatidão dos dados observacionais, e suas predições de alta precisão sobre o movimento dos planetas provêm a evidência convincente de que, num nível de inesperada profundidade, seres humanos são capazes de entender o cosmos. Nossa civilização moderna global, nossa visão do mundo e nossa exploração atual do universo têm uma grande dívida para com esses insights.

Newton foi circunspecto quanto a seus achados e ferrenhamente competitivo com seus colegas cientistas. Não hesitou em esperar uma ou duas décadas após sua descoberta para publicar a lei do inverso do quadrado. Mas, ante a grandeza e a complexidade da natureza, ele era, como Ptolomeu e Kepler, exaltado, assim como incrivelmente modesto. Pouco antes de morrer, escreveu:

> Não sei o que o mundo pode achar de mim; mas para mim mesmo parece que fui apenas um menino, brincando na praia e me divertindo quando encontro, vez ou outra, uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita do que o normal, enquanto o grande oceano da verdade jaz totalmente não descoberto a minha frente.

---

* Nome grego do sétimo mês do calendário egípcio. (N. T.)

** Atualmente, com a reclassificação de Plutão como planeta-anão, existem apenas oito planetas. (N. R. T.)

*** O Homem na Lua é uma pareidolia (imagem interpretada pelo nosso cérebro a partir de um padrão aleatório) de uma pessoa inteira ou de um rosto de uma pessoa quando se observam as manchas formadas pelas crateras lunares. Essa imagem aparente é citada de modo

recorrente por diversas culturas do hemisfério norte. Um exemplo popular de pareidolia são as figuras que imaginamos quando olhamos as formas das nuvens no céu. (N. R. T.)

4. Céu e inferno

As portas do céu e do inferno são adjacentes e idênticas.

Nikos Kazantzakis, *A última tentação de Cristo*

A Terra é um lugar adorável e mais ou menos plácido. As coisas mudam, porém devagar. Podemos viver uma vida inteira e nunca nos depararmos com um desastre natural mais violento do que uma tempestade. E assim nos tornamos complacentes, relaxados, despreocupados. Mas na história da natureza, os registros são claros. Mundos têm sido devastados. Mesmo nós, seres humanos, adquirimos a duvidosa distinção técnica de sermos capazes de criar nossas próprias hecatombes, intencional ou inadvertidamente. Nas paisagens de outros planetas onde se preservaram os registros do passado, há evidências abundantes de grandes catástrofes. É só uma questão de escala do tempo. Um evento que seria impensável dentro de cem anos pode ser inevitável dentro de 100 milhões. Mesmo na Terra, mesmo em nosso próprio século, têm ocorrido eventos naturais bizarros.

Nas primeiras horas da manhã de 30 de junho de 1908, na Sibéria Central, uma gigantesca bola de fogo foi vista cruzando o céu num átimo. Quando tocou na linha do horizonte, houve uma enorme explosão. Arrasou cerca de 2 mil quilômetros quadrados de floresta e queimou milhares de árvores no fogo que irrompeu perto do lugar do impacto. Produziu uma onda de choque na atmosfera que circundou duas vezes a Terra. Durante dois dias depois disso, houve tanta poeira fina na atmosfera que se poderia ler um jornal à noite pelas luzes difusas das ruas de Londres, a 10 mil quilômetros dali.

O governo dos tsares da Rússia não se deu o trabalho de investigar tão trivial evento, que, afinal, tinha ocorrido muito longe, entre os atrasados tungues, um povo da Sibéria. Só dez anos após a Revolução chegou uma expedição para examinar o solo e entrevistar testemunhas. Eis alguns dos relatos obtidos:

> De manhã cedo, enquanto todos dormiam na tenda, ela voou pelos ares, junto com seus ocupantes. Quando caíram no solo, toda a família tinha ferimentos leves, mas Akulina e Ivan estavam inconscientes. Quando recuperaram a consciência, ouviram um barulho forte e viram a floresta em chamas em volta deles, em grande parte devastada.

> Eu estava sentado na entrada de casa, no posto comercial de Vanovara, na hora do desjejum, e olhando na direção do norte. Acabara de pegar o machado para enganchar num barril, quando de repente [...] o céu se dividiu em dois, e bem em cima da floresta parte do céu parecia estar coberta de fogo. Nesse momento senti um grande calor, como se minha camisa tivesse pegado fogo [...]. Quis tirar a camisa e jogá-la longe, mas nessa hora houve um estrondo no céu e ouviu-se um impacto muito forte. Fui jogado ao chão, a mais de seis metros da entrada, e por um instante perdi a consciência. Minha mulher correu para fora e me carregou para a cabana. O impacto

> foi seguido de um barulho como o de pedras caindo do céu ou de armas atirando. A Terra tremia e, deitado no chão, cobri a cabeça, porque tive medo de que fosse atingida por pedras. No momento em que o céu se abriu, um vento quente, como se fosse de um canhão, soprou do norte, passando pelas cabanas. Isso deixou marcas no solo [...].

> Quando me sentei para o desjejum, junto a meu arado, ouvi de repente uns disparos, como se fossem de armas de fogo. Meu cavalo caiu de joelhos. Do lado norte, acima da floresta, subiu uma chama [...]. Depois vi que a floresta de abetos tinha sido vergada para a frente pelo vento e pensei que era um furacão. Agarrei meu arado com as duas mãos, para que não fosse carregado. O vento era tão forte que levou parte da superfície do solo, e depois o furacão ergueu uma muralha de água no rio Angara. Vi tudo isso com clareza, pois minha terra fica numa colina.

> O rugido assustou os cavalos em tal medida que alguns galoparam em pânico, arrastando os arados em direções diferentes, e outros desabaram no chão.

> Os carpinteiros, depois do primeiro e do segundo impacto, se entreolharam estupefatos, e quando o terceiro impacto ressoou eles caíram, atrás do prédio, sobre as lascas de madeira. Alguns estavam tão atordoados e aterrorizados que tive de acalmá-los e reconfortá-los. Todos nós abandonamos o trabalho e fomos para o vilarejo. Lá, multidões inteiras de habitantes locais se reuniam nas ruas, cheios de terror, falando sobre esse fenômeno.

> Eu estava nos campos [...] e tinha acabado de arrear um cavalo e começado com outro quando ouvi de repente o que soou como um potente tiro à direita. De imediato me virei e vi um objeto flamejante e alongado voando pelo céu. A parte da frente era muito mais larga que a extremidade em cauda, e sua cor era como a do fogo à luz do dia. Era muitas vezes maior do que o Sol, porém bem menos ofuscante, assim foi possível olhar para ele a olho nu. Atrás das chamas havia um rastro que parecia poeira. Era coroado por pequenas nuvens de fumaça e as chamas deixavam atrás delas umas faixas azuis [...]. Logo que a chama desapareceu, ouviram-se estrondos mais ruidosos do que tiros, podia-se sentir o chão tremer e as vidraças da cabana se estilhaçaram.

> Eu estava lavando roupas de lã na ribanceira do rio Kan. De repente ouviu-se um barulho como o do rufar das asas de um pássaro assustado [...] e uma espécie de intumescimento veio subindo o rio. Depois disso houve um forte estrondo, tão alto que um dos trabalhadores [...] caiu dentro d'água.

Essa notável ocorrência foi chamada de Evento de Tunguska. Alguns cientistas sugeriram que ele tenha sido causado pelo choque de um pedaço de antimatéria, eliminado ao entrar em contato com a matéria normal da Terra, e que desapareceu num clarão de raios gama. Mas a ausência de radioatividade no lugar do impacto não sustenta essa explicação. Outros postulam que um miniburaco negro atravessou a Terra, indo de encontro à Sibéria e saindo do outro lado. Mas os registros das ondas de choque atmosférico não apresentam indícios de algum objeto irrompendo num estrondo do Atlântico Norte mais tarde, naquele dia. Talvez fosse uma nave espacial de alguma inimaginável civilização extraterrestre avançada, desesperada e em apuros, chocando-se com uma região remota de um planeta obscuro. Mas no lugar do impacto não há vestígios de tal nave. Todas essas hipóteses foram sugeridas, algumas delas mais ou menos a sério. Nenhuma conta com o forte apoio de alguma evidência. A questão-chave no Evento de Tunguska é o fato de ter havido uma tremenda explosão, uma grande onda de choque, um grande incêndio florestal, e ainda assim não existir uma cratera no lugar do impacto. Parece haver apenas uma única explicação consistente com todos os fatos: em 1908, um pedaço de cometa atingiu a Terra.

Nos vastos espaços entre os planetas há muitos objetos, alguns rochosos, outros metálicos, alguns de gelo, alguns compostos em parte por moléculas orgânicas. Suas dimensões variam de grãos de poeira até blocos irregulares do tamanho da Nicarágua ou do Butão. E às vezes, por acaso, há um planeta em seu caminho. O Evento de Tunguska talvez tenha sido causado por um fragmento de

gelo de um cometa com cerca de cem metros de largura — o tamanho de um campo de futebol — pesando 1 milhão de toneladas, movendo-se a cerca de trinta quilômetros por segundo, ou seja, quase 110 mil quilômetros por hora.

Se um impacto como esse ocorresse hoje, poderia ser erroneamente tomado, em especial no pânico momentâneo, por uma explosão nuclear. O impacto do cometa e a bola de fogo simulariam o efeito de uma explosão nuclear de um megaton, incluindo a nuvem em forma de cogumelo, com duas exceções: não haveria radiação gama nem precipitação radioativa. Poderia um evento raro mas natural, o impacto de um fragmento de cometa de tamanho razoável, desencadear uma guerra nuclear? Estranho cenário: um pequeno cometa se choca com a Terra, como fazem milhões deles, e a reação de nossa civilização é prontamente se autodestruir. Uma boa ideia seria entendermos de cometas, colisões e catástrofes um pouco melhor do que entendemos. Por exemplo, um satélite americano *Vela* detectou um imenso clarão duplo de luz nas vizinhanças do Atlântico Sul e do oeste do oceano Índico em 22 de setembro de 1979. Segundo as primeiras especulações, fora um teste clandestino de uma bomba nuclear de baixa potência (dois quilotons, cerca de um sexto da energia da bomba de Hiroshima) feito pela África do Sul ou por Israel. As consequências políticas foram consideradas sérias pelo mundo inteiro. Mas e se os clarões foram causados, em vez disso, pelo impacto de dois asteroides ou pedaços de um cometa? Como a varredura aérea na vizinhança do lugar dos clarões não apresentou nenhum traço incomum de radioatividade no ar, essa possibilidade é real, e isso ressalta o perigo, numa era de armas nucleares, de não se monitorarem os impactos que vêm do espaço melhor do que estamos fazendo.

Um cometa é feito sobretudo de gelo — gelo de água (H_2O) — com um pouco de gelo de metano (CH_4) e algum gelo de amônia (NH_3). Ao ir de encontro à atmosfera da Terra, um modesto fragmento de cometa pode produzir uma grande e brilhante bola de fogo e uma poderosa onda de choque, capaz de incendiar árvores, arrasar florestas e ser ouvida em todo o mundo. Mas poderia não criar uma grande cratera no solo. O gelo se derreteria durante a entrada. Seriam deixados poucos fragmentos reconhecíveis do cometa — talvez apenas um punhado de pequenos grãos das partes não geladas de seu núcleo. Pouco tempo atrás, o cientista soviético E. Sobotovich identificou um grande número de minúsculos diamantes espalhados no local do Evento de Tunguska. Já se sabe que há diamantes nos meteoritos que sobrevivem ao impacto e que eles podem ter sua origem remota nos cometas.

Numa noite muito clara, se você ficar olhando o céu com paciência, poderá ver um meteoro solitário brilhando por breves momentos lá em cima. Em algumas noites talvez veja uma chuva de meteoros, sempre nos mesmos e poucos dias de cada ano — uma exibição de fogos de artifício naturais, um entretenimento nos céus. Esses meteoros são formados por grãos minúsculos, menores do que um grão de mostarda. São menos estrelas cadentes do que penugem em queda. Momentaneamente brilhantes quando entram na atmosfera terrestre, são aquecidos e destruídos pela fricção a uma altitude de cerca de cem quilômetros. Meteoros são os remanescentes de cometas.[1] Antigos cometas, aquecidos por recorrentes passagens perto do Sol, se rompem, evaporam e se desintegram. Seus destroços se espalham, preenchendo toda a órbita do cometa. Na interseção dessa órbita com a da Terra há uma enxame de meteoros esperando por nós. Parte desse

enxame está constantemente na mesma posição na órbita da Terra, e assim a chuva de meteoros é sempre observada no mesmo dia de cada ano. Em 30 de junho de 1908 aconteceu a chuva de meteoros Beta Táuridas, na conexão com a órbita do cometa Encke. O Evento de Tunguska parece ter sido causado por um fragmento do Encke, um pedaço bem maior que os pequenos fragmentos que causam essas brilhantes e inofensivas chuvas de meteoros.

Os cometas sempre provocaram medo, reverência e superstição. Suas aparições ocasionais desafiavam de maneira perturbadora a noção de um cosmos inalterável e ordenado por Deus. Parecia inconcebível que um rastro espetacular de uma chama branca leitosa, aparecendo e se pondo junto com as estrelas noite após noite, não estivesse lá por algum motivo, não tivesse algum poder sobre as atividades humanas. Assim surgiu a ideia de que os cometas eram arautos do desastre, augúrios da ira divina — que previam as mortes de príncipes, a queda de reinos. Os babilônios achavam que cometas eram barbas celestiais. Os gregos pensavam em cabelos soltos, os árabes, em espadas flamejantes. Na época de Ptolomeu os cometas eram classificados, elaboradamente, como "raios", "clarins", "jarros" e assim por diante, dependendo da forma que ostentavam. Ptolomeu achava que eles traziam guerras, clima quente e "condições de perturbação". Algumas descrições medievais desses corpos celestes parecem se referir a crucifixos voadores não identificados. Um "superintendente" luterano ou bispo de Magdeburgo chamado Andreas Celichius publicou em 1578 um *Lembrete teológico do novo cometa*, o qual apresentava a inspirada visão de que um cometa é "a espessa fumaça dos pecados humanos a se elevar a cada dia, cada hora, cada momento, cheia de fedor e horror ante a face de Deus, e tornando-se gradualmente tão espessa a ponto de formar um cometa, com madeixas enroladas e trançadas, que afinal é acesa pela ira quente e feroz do Supremo Juiz Celestial". Mas outros contrapunham que se os cometas fossem a fumaça do pecado, os céus estariam o tempo todo incendiados por eles.

O registro mais antigo da aparição do cometa Halley (e de qualquer outro) está no *Livro do príncipe Huai Nan*, chinês, presente na marcha do rei Wu contra Zhou, de Yin. O ano era 1057 a.C. A aproximação do Halley no ano 66 talvez explique o relato de Flávio Josefo a respeito de uma espada que pendeu sobre Jerusalém durante um ano inteiro. Em 1066 os normandos testemunharam outro retorno do cometa. Como isso devia, pensaram, ser o presságio da queda de *algum* reino, ele estimulou, em certo sentido de maneira precipitada, a invasão da Inglaterra por Guilherme, o Conquistador. O cometa foi devidamente referido num jornal da época, a Tapeçaria de Bayeux. Em 1301, Giotto, um dos fundadores da pintura moderna realista, testemunhou outra aparição do Halley e a incluiu numa cena da Natividade. O Grande Cometa de 1466 — que é outro retorno do Halley — fez a Europa cristã entrar em pânico; os cristãos temeram que Deus, que enviava os cometas, pudesse estar do lado dos turcos, que tinham acabado de capturar Constantinopla.

Os principais astrônomos dos séculos XVI e XVII eram fascinados por cometas, e até Newton ficou um pouco tonto com eles. Kepler os descreveu como se projetando no espaço "como os peixes no mar", mas sendo dissipados pela luz solar, já que a cauda sempre aponta para a direção contrária à do Sol. David Hume, que em muitos casos foi um inflexível racionalista, ao menos dessa vez brincou com a ideia de que os cometas eram células reprodutoras — o óvulo ou o espermatozoide — de

sistemas planetários, ou seja, que os planetas eram produzidos por uma espécie de sexo interestelar. Quando estudava para sua graduação, antes da invenção do telescópio refletor, Newton passou muitas noites em claro buscando cometas no céu a olho nu, com tal fervor que ficou doente por exaustão. Acompanhando Tycho e Kepler, concluiu que os cometas vistos da Terra não se movem dentro de nossa atmosfera, como haviam pensado Aristóteles e outros, e sim a uma distância maior do que a da Lua, embora mais perto do que Saturno. Cometas brilham, assim como planetas, ao refletir a luz do Sol, "e há muitos que erroneamente pensam que eles estão à mesma distância das estrelas fixas; pois se fosse assim, os cometas não poderiam receber mais luz do nosso Sol do que recebem nossos planetas das estrelas fixas". Newton demonstrou que cometas, como os planetas, movem-se em elipses: "Cometas são espécies de planetas que giram em órbitas muito excêntricas em torno do Sol". Essa desmistificação, essa previsão de órbitas cometárias regulares, levou seu amigo Edmund Halley, em 1707, a calcular que os cometas de 1531, 1607 e 1682 eram aparições do mesmo fenômeno com 76 anos de intervalo, e previu seu retorno em 1758. O cometa chegou como previsto e recebeu seu nome como homenagem póstuma. O Halley desempenhou papel importante na história humana e poderá ser o alvo da primeira[i] sonda espacial visando a um cometa, durante seu retorno em 1986.

Cientistas planetários alegam às vezes que a colisão de um cometa com um planeta pode dar uma importante contribuição à atmosfera deste. Por exemplo, toda a água que existe hoje na atmosfera de Marte pode ser atribuída a um impacto recente de um pequeno cometa. Newton notou que a matéria na cauda dos cometas se dissipa no espaço interplanetário, perdida pelo cometa e aos poucos atraída gravitacionalmente para planetas nas proximidades. Ele acreditava que a água na Terra está se perdendo aos poucos, "consumida na vegetação e na putrefação, e convertida em terra seca [...]. Os fluidos, se não forem supridos de fora, podem estar em contínuo decréscimo, para enfim faltarem". Parece que Newton acreditava que os oceanos na Terra eram de origem cometária e que a vida só é possível porque matéria cometária cai em nosso planeta. Num sonho místico, ele foi ainda além: "Suspeito, acima de tudo, que é principalmente dos cometas que vem o espírito, que é de fato a menor, porém a mais sutil e útil, parte de nosso ar, e assim muito necessária para sustentar a vida de todas as coisas a nossa volta".

Já em 1868 o astrônomo William Huggins descobriu uma identidade entre várias características no espectro de um cometa e no espectro do gás natural, ou olefiante, ou etileno. Huggins tinha encontrado matéria orgânica nos cometas; em anos subsequentes, foi identificada na cauda deles a presença de cianogênio (CN), que consiste num átomo de carbono e de nitrogênio, o fragmento molecular que forma os cianetos. Quando a Terra estava a ponto de passar pela cauda do Halley em 1910, muita gente entrou em pânico. Esqueceram-se de que a cauda de um cometa é muitíssimo difusa; o perigo efetivo do veneno nela presente é muito menor que o perigo, mesmo em 1910, da poluição industrial nas grandes cidades.

Mas isso não deixou quase ninguém tranquilo. Por exemplo, títulos de reportagens no *San Francisco Chronicle* em 15 de maio de 1910 diziam: "Câmera para [fotografar] cometa do tamanho de uma casa", "Cometa chega e marido se aprimora", "Festas para o cometa agora são mania em Nova York". O *Los Angeles Examiner* adotou um estilo leve: "Ei! O cometa já cianogenou você?", "A

raça humana inteira destinada a um banho de gás grátis", "Na expectativa de uma grande farra", "Muitos sentem o cheiro do cianogênio", "Vítima sobe em árvore e tenta telefonar para o cometa". Naquele ano houve festas, uma busca de felicidade antes de o mundo acabar devido à poluição pelo cianogênio. Empreendedores lançaram pílulas anticometa e máscaras contra gases, estas numa misteriosa premonição de como seriam os campos de batalha na Primeira Guerra Mundial.

Mesmo em nossa época ainda há certa confusão quanto aos cometas. Em 1957, eu era estudante de graduação no Observatório Yerkes, da Universidade de Chicago. Sozinho no observatório uma noite, bem tarde, ouvi o telefone tocar com insistência. Quando atendi, uma voz que deixava transparecer um alto grau de embriaguez disse: "Deixa eu falar com um astrônimo". "Em que posso ajudá-lo?" "Bem, veja, estamos tendo uma festinha aqui em Wilmette e tem alguma coisa no céu. O engraçado é que se você olha direto para ela, ela vai embora. Mas se você não olha, ela fica lá." A parte mais sensível da retina não fica no centro do campo de visão. Podem-se ver estrelas mais fracas e outros objetos desviando de leve o olhar. Eu sabia que, quase invisível no céu naquele momento, havia um cometa recém-descoberto chamado Arend-Roland. Então lhe disse que ele talvez estivesse olhando para um cometa. Houve uma longa pausa, seguida da pergunta: "Quiéum cometa?". "Um cometa", respondi, "é uma bola de neve com mais de um quilômetro e meio de diâmetro." Houve uma pausa ainda mais longa, após a qual ele pediu: "Deixa eu falar com um astrônimo *de verdade*". Quando o cometa Halley reaparecer em 1986, fico me perguntando quais líderes políticos ficarão com medo, quanta tolice vamos ter de aturar.

Apesar de os planetas se moverem em órbitas elípticas em torno do Sol, suas órbitas não são *muito* elípticas. À primeira vista elas são, na maioria, indistinguíveis de um círculo. Os cometas — em especial os de período longo — é que têm órbitas acentuadamente elípticas. Os planetas são os veteranos do sistema solar interior; os cometas são os calouros. Por que as órbitas planetárias são quase circulares e claramente separadas umas das outras? Porque se os planetas tivessem órbitas muito elípticas, de modo a haver pontos de interseção entre elas, cedo ou tarde haveria uma colisão. Na história primeva do sistema solar é provável que tenha havido muitos planetas no processo de formação. Aqueles cujas órbitas elípticas se cruzavam tendiam a colidir e se destruir. Os que tinham órbitas circulares tendiam a avançar e sobreviver. As órbitas dos atuais planetas são órbitas dos sobreviventes dessa seleção natural colisional, a idade média estável de um sistema solar dominado no início por impactos catastróficos.

No sistema solar mais exterior, na escuridão muito além dos planetas, há uma vasta nuvem esférica de 1 trilhão de núcleos cometários orbitando o Sol a uma velocidade não maior que a de um carro de corrida na prova de Indianápolis 500.[2] Um cometa bem típico teria o aspecto de uma gigantesca bola de neve rolante, com cerca de um quilômetro de diâmetro. A maioria deles nunca penetraria a fronteira marcada pela órbita de Plutão.[ii] Porém, vez ou outra uma estrela de passagem causa uma agitação gravitacional, uma comoção, na nuvem cometária, e um grupo de cometas se vê em órbitas acentuadamente elípticas, mergulhando em direção ao Sol. Depois que esse percurso é mudado de novo por influências gravitacionais de Júpiter ou Saturno, um cometa desse grupo tende a se encontrar, uma vez em cada século, ou algo assim, rumando em direção ao sistema solar interior. Em algum lugar entre as órbitas de Júpiter e Marte, ele começa a se aquecer e a evaporar.

A matéria expelida para fora pela atmosfera do Sol, o vento solar, carrega fragmentos de poeira e de gelo de volta para a parte traseira do cometa, formando uma cauda incipiente. Se Júpiter tivesse um metro de diâmetro, nosso cometa seria menor que um grão de poeira, mas, quando totalmente desenvolvido, sua cauda seria tão grande quanto a distância entre os mundos. Quando avistado da Terra em uma de suas órbitas, ele suscitaria surtos de supersticioso fervor entre os terráqueos. Mas depois estes entenderiam que eles não existiam em sua atmosfera, mas lá fora, entre os planetas. Calculariam sua órbita. E talvez um dia, em breve, lançariam um pequeno veículo espacial dedicado a explorar esse visitante do reino das estrelas.

Cedo ou tarde cometas vão se chocar com planetas. A Terra e sua companheira, a Lua, devem ser bombardeadas por cometas e pequenos asteroides, destroços remanescentes da formação do sistema solar. Como são objetos mais pequenos do que grandes, haveria mais impactos de objetos pequenos do que de objetos grandes. Um impacto de um pequeno fragmento de cometa com a Terra, como em Tunguska, ocorreria uma vez a cada mil anos. Mas um impacto com um cometa grande, como o Halley, cujo núcleo tem talvez vinte quilômetros de diâmetro, deve ocorrer apenas uma vez a cada 1 bilhão de anos.

Quando um objeto pequeno, feito de gelo, colide com um planeta ou uma lua, talvez não produza uma cicatriz importante. Mas se os objetos colidentes forem maiores ou feitos sobretudo de rocha, há uma explosão no impacto que entalha uma cavidade hemisférica chamada cratera de impacto. E se nenhum processo desgastar ou preencher a cratera, ela pode durar bilhões de anos. Na Lua quase não há erosão, e quando examinamos sua superfície vemos que está coberta de crateras de impacto, muito mais do que poderiam ser atribuídas à esparsa população de detritos de cometas e asteroides que preenche hoje o sistema solar interior. A superfície lunar oferece um testemunho eloquente de uma era anterior de destruição de mundos, bilhões de anos atrás.

Crateras de impacto não se restringem à Lua. Nós as encontramos por todo o sistema solar interior — desde Mercúrio, o mais próximo do Sol, até Vênus, coberto de nuvens, e Marte com suas pequenas luas, Fobos e Deimos. Esses são os planetas telúricos, nossa família de mundos, planetas mais ou menos parecidos com a Terra. Têm superfícies sólidas, interiores feitos de rocha e ferro, e uma atmosfera que vai de um quase vácuo a pressões noventa vezes maiores que a da Terra. Eles se agrupam em torno do Sol, fonte de luz e calor, como campistas em torno de uma fogueira. Os planetas têm cerca de 4,6 bilhões de anos de idade. Como a Lua, carregam consigo o testemunho de uma era de impactos catastróficos, na história primeva do sistema solar.

Quando passamos de Marte, entramos num regime muito diferente — o reino de Júpiter e os outros planetas jovianos. Esses são grandes mundos, compostos sobretudo por hidrogênio e hélio, com menores quantidades de gases ricos em hidrogênio, como metano, amônia e água. Aqui não se veem superfícies sólidas, apenas a atmosfera e nuvens multicoloridas. São planetas de verdade, não mundinhos fragmentários como o nosso. Dentro de Júpiter caberiam mil Terras. Se um planeta ou um asteroide caísse na atmosfera de Júpiter, não teríamos uma cratera visível, apenas uma momentânea ruptura nas nuvens. No entanto, sabemos que existe uma história com muitos bilhões de anos de colisões também no sistema solar exterior — porque Júpiter tem um grande sistema de luas, mais de uma dúzia,[iii] cinco das quais foram examinadas bem de perto pela espaçonave *Voyager*.

Aqui encontramos de novo evidência de catástrofes passadas. Quando o sistema solar for todo explorado, é provável que tenhamos evidência de mais impactos catastróficos em todos os nove mundos, de Mercúrio a Plutão, e em todos os mundos menores, luas, cometas e asteroides.

Existem cerca de 10 mil crateras no lado da Lua voltado para nós, visíveis da Terra pelo telescópio. A maioria delas fica nas antigas planícies lunares e data do tempo da acreção da Lua, a partir dos detritos interplanetários. Há cerca de mil crateras com mais de um quilômetro de diâmetro nos *maria* ("mares", em latim) e regiões mais baixas que talvez tenham sido inundadas por lava, pouco depois da formação da Lua, cobrindo as crateras preexistentes. Assim, num cálculo muito aproximado, crateras devem se formar hoje na Lua a um ritmo de cerca de 10^9 anos/10^4 crateras, = 10^5 anos/crateras, 100 mil anos entre eventos de formação de cratera. Como deve ter havido há alguns bilhões de anos mais detritos interplanetários do que existem hoje, podemos ter de esperar até mais do que 100 mil anos para ver formar-se uma cratera na Lua. Como a Terra tem uma área maior do que a Lua, pode ser que tenhamos de esperar algo como 10 mil anos entre colisões que produzam crateras com um quilômetro de diâmetro em nosso planeta. E como a cratera do Meteoro, no Arizona, uma cratera de impacto com cerca de um quilômetro de diâmetro, foi estimada como tendo 20 mil ou 30 mil anos de idade, as observações na Terra estão de acordo com esses cálculos brutos.

O impacto efetivo de um cometa pequeno ou um asteroide com a Lua pode produzir uma explosão momentânea brilhante o suficiente para ser vista da Terra. Podemos imaginar nossos antepassados olhando com displicência para cima e notando uma nuvem estranha elevando-se da parte não iluminada da Lua e de repente tocada pelos raios do Sol. Mas não se pode esperar que tal evento tenha ocorrido em tempos cobertos por nossa história. A taxa de probabilidades contrárias deve ser de algo como cem para um. Não obstante, há um relato histórico cuja descrição pode corresponder à de um impacto na Lua visto da Terra a olho nu: na noite de 25 de junho de 1178, cinco monges britânicos relataram algo extraordinário, que foi mais tarde registrado nas crônicas de Gervásio da Cantuária, em geral considerado um relator confiável dos eventos políticos e culturais de sua época, depois de ele ter entrevistado a testemunha ocular que afirmou, sob juramento, ser sua história verdadeira. Na crônica se lê:

> Havia um quarto crescente claro, e, como é comum nessa fase, suas pontas estavam voltadas para o leste. De súbito, a ponta superior se dividiu em duas. Do ponto médio da divisão, projetou-se uma tocha flamejante, lançando fogo, carvões em brasa e centelhas.

Os astrônomos Derral Mulholland e Odile Calame calcularam que um impacto lunar produziria uma novem de poeira elevando-se da superfície da Lua com um aspecto correspondente, de maneira muito aproximada, ao relato dos monges de Cantuária.

Se esse impacto tivesse ocorrido há apenas oitocentos anos, a cratera ainda estaria visível. A erosão na Lua é tão ineficiente, por causa de ausência de ar e de água, que mesmo crateras pequenas com poucos bilhões de anos ainda são mais ou menos bem conservadas. A partir da descrição registrada por Gervásio, é possível determinar com exatidão o setor da Lua ao qual se refere a observação. Impactos produzem raios, rastros lineares de poeira fina expelidos durante a explosão. Esses raios estão associados às crateras mais jovens da Lua — por exemplo, as chamadas Aristarco,

Copérnico e Kepler. Mas essas crateras podem resistir à erosão na Lua, enquanto os raios, sendo excepcionalmente finos, não. Com o passar do tempo, mesmo a chegada de micrometeoritos — poeira fina do espaço — agita e cobre os raios, e eles aos poucos desaparecem. Esses raios são uma assinatura de um impacto recente.

O meteoriticista Jack Hartung assinalou que existe uma pequena cratera muito recente, inclusive no aspecto, com um sistema de raios proeminente, bem na região da Lua mencionada pelos monges de Cantuária. Chama-se Giordano Bruno, em homenagem ao sábio católico romano do século XVI que sustentava haver uma infinidade de mundos e que muitos deles eram habitados. Por esse e outros crimes, ele foi queimado na fogueira no ano de 1600.

Outra linha de evidência consistente com essa interpretação foi provida por Calame e Mulholland. Quando um objeto impacta a Lua em alta velocidade, provoca nela um leve balanço. Mais tarde as vibrações se atenuam, mas não num período inferior a oitocentos anos. Esse tremor pode ser estudado por técnicas de reflexão a laser. Os astronautas da *Apollo 16* instalaram em vários locais na Lua espelhos chamados retrorrefletores de laser. Quando um raio laser da Terra atinge o espelho e se reflete, o tempo do percurso de ida e volta pode ser medido com precisão notável. Esse tempo multiplicado pela velocidade da luz nos dá a distância à Lua naquele momento também com uma precisão notável. Essas medições, realizadas num período de vários anos, revelam que a Lua está em libração, ou estremecendo num período (cerca de três anos) e numa amplitude (cerca de três metros) consistentes com a ideia de que a cratera Giordano Bruno foi criada há menos de mil anos.

Todos esses indícios são inferidos e indiretos. Há poucas probabilidades, como já disse, de que esse evento tenha ocorrido em tempos históricos. Mas trata-se de uma evidência pelo menos sugestiva. Como também nos relembram o Evento de Tunguska e a cratera do Meteoro no Arizona, nem todos os impactos catastróficos ocorreram no início da história do sistema solar. Mas o fato de só algumas crateras lunares apresentarem sistemas de raios extensos nos faz lembrar que, mesmo na Lua, ocorre alguma erosão.[3] Verificando qual cratera se sobrepõe a qual e outros sinais de estratigrafia lunar, podemos reconstituir a sequência de impactos e inundações subsequentes dos quais a produção da cratera Giordano Bruno é talvez o exemplo mais recente.

Nosso planeta está muito perto da Lua. Se esta é atingida por impactos de forma tão severa, como é que a Terra os tem evitado? Por que uma cratera como a do Meteoro é tão rara? Será que os cometas e os asteroides pensam que não é recomendável ir de encontro a um planeta habitado? É uma suposição improvável. A única explicação possível é que as crateras de impacto ocorrem com frequências semelhantes na Terra e na Lua, mas que na Lua, sem ar e sem água, elas são preservadas durante imensos períodos, enquanto na Terra uma lenta erosão as apaga ou preenche de material. Água corrente, rajadas de vento e formação de montanhas são processos muito lentos. Mas em milhões ou bilhões de anos são capazes de apagar por completo até grandes cicatrizes de impacto.

Na superfície de qualquer lua ou planeta há processos externos, como o dos impactos vindos do espaço, e processos internos, como tremores de terra; há eventos rápidos e catastróficos, como erupções vulcânicas, e processos de excruciante lentidão, como a ablação da superfície pelo impacto de minúsculos grãos de poeira que voam pelo ar. Não existe uma resposta genérica à

questão de quais são os processos dominantes, os externos ou os internos; os eventos raros porém violentos, ou as ocorrências comuns e imperceptíveis. Na Lua, os eventos externos e catastróficos têm dominância; na Terra, os processos internos e lentos predominam. Marte é um caso intermediário.

Entre as órbitas de Marte e de Júpiter há um número incontável de asteroides. Os maiores têm algumas centenas de quilômetros de diâmetro.[iv] Muitos têm formato oblongo e ficam rolando pelo espaço. Em alguns casos parece haver dois ou mais asteroides muito próximos numa órbita comum. Colisões entre asteroides acontecem com frequência, e às vezes um pedaço de um deles é arrancado e por acidente intercepta a Terra, caindo em sua superfície como um meteorito. Esses fragmentos de mundos distantes estão em exibição nos museus da Terra. O cinturão de asteroides é uma grande pedra de moinho, que produz pedaços cada vez menores, até o tamanho de ciscos de poeira. Os pedaços maiores de asteroide, assim como os cometas, são os principais responsáveis pelas crateras recentes em superfícies de planetas. O cinturão de asteroides pode ser o lugar no qual uma vez a formação de um planeta foi impedida por forças de maré causadas por um planeta gigante próximo, Júpiter; ou podem ser destroços remanescentes de um planeta que explodiu. Isso parece ser improvável porque nenhum cientista na Terra sabe como um planeta poderia explodir. Ainda bem.

Os anéis de Saturno apresentam alguma semelhança com o cinturão de asteroides: trilhões de minúsculas luas de gelo orbitando o planeta. Podem ser destroços impedidos, pela gravidade de Saturno, de se acretarem formando uma lua próxima, ou podem ser remanescentes de uma lua que orbitava muito perto do planeta e foi despedaçada pelas forças de maré. Ou então podem representar uma situação de equilíbrio estável entre material ejetado por uma lua de Saturno, como Titã, e material que cai na atmosfera do planeta. Júpiter e Urano também têm sistemas de anéis, só descobertos há pouco tempo[v] e quase invisíveis da Terra. Quanto a Netuno ter ou não um anel,[vi] é um problema que consta na agenda dos cientistas planetários. Talvez anéis sejam adornos típicos de planetas do tipo joviano em toda a extensão do cosmos.

Importantes colisões recentes de Saturno a Vênus são mencionadas num livro popular, *Mundos em colisão*, publicado em 1950 por um psiquiatra chamado Immanuel Velikovsky. Ele sugeria que um objeto de massa planetária, que chamou de cometa, foi gerado de algum modo no sistema de Júpiter. Há cerca de 3500 anos esse objeto penetrou no sistema solar interior e teve repetidos encontros com a Terra e com Marte, tendo como consequências incidentais a abertura do mar Vermelho, que permitiu a Moisés e aos israelitas escapar do faraó, e o fato de a Terra parar de girar ao comando de Josué. Causou também, de acordo com o autor, extenso vulcanismo e inundações.[4] Velikovsky imaginou que o cometa, depois de um complicado jogo de bilhar interplanetário, se fixou numa órbita estável e quase circular, tornando-se o planeta Vênus — que segundo ele não existia antes disso.

Como comentei de maneira extensa em outro lugar deste livro, essas ideias são, quase com certeza, errôneas. Os astrônomos não contestam a ideia dessas grandes colisões, só a de grandes colisões *recentes*. Em qualquer modelo do sistema solar é impossível mostrar o tamanho dos planetas na mesma escala de suas órbitas, porque nesse caso eles seriam pequenos demais para ser

enxergados. Se os planetas fossem mostrados, na escala real, como grãos de poeira, notaríamos com facilidade que a possibilidade de colisão de determinado planeta com a Terra num espaço de alguns milhares de anos é baixíssima. Além disso, Vênus é um planeta rochoso e metálico, pobre em hidrogênio, enquanto Júpiter — de onde Velikovsky supõe que ele provenha — é quase todo feito de hidrogênio. Não existem fontes de energia para que planetas ou cometas sejam ejetados de Júpiter. Se algum passasse pela Terra, não seria capaz de "parar" a rotação dela, muito menos de fazê-la girar de novo durante um dia de 24 horas. Nenhuma evidência geológica dá suporte à ideia de uma frequência incomum de vulcanismo ou inundações 3500 anos atrás. Há inscrições mesopotâmicas referentes a Vênus anteriores à época em que Velikovsky afirma que esse astro se transformou de cometa em planeta.[5] É muito improvável que um objeto numa órbita tão marcadamente elíptica pudesse entrar rápido numa órbita quase perfeitamente circular como é hoje a de Vênus. E assim por diante.

Muitas hipóteses sugeridas por cientistas e também por não cientistas acabam se mostrando errôneas. Mas a ciência é um empreendimento que se autocorrige. Para serem aceitas, muitas ideias novas devem sobreviver a rigorosos padrões de evidência. O pior aspecto do caso Velikovsky não é o fato de suas hipóteses estarem erradas ou em contradição com fatos estabelecidos, mas o de que algumas pessoas que se intitulavam cientistas tentaram suprimir seu trabalho. A ciência se origina em e se dedica a uma investigação livre: a ideia é que qualquer hipótese, não importa quão estranha seja, merece ser considerada em seus méritos. A supressão de ideias que sejam desconfortáveis pode ser comum na religião e na política, mas não é um caminho para o conhecimento; não tem lugar no empreendimento científico. Não sabemos com antecedência quem irá ter novos insights fundamentais.

Vênus tem quase a mesma massa,[6] o mesmo tamanho e a mesma densidade da Terra. Por ser o planeta mais próximo dela, durante séculos tem sido imaginado como irmão da Terra. Como é de fato nosso planeta irmão? Será ameno, estival, um pouco mais quente do que a Terra por estar um pouco mais próximo do Sol? Será que tem crateras, ou já foram todas erodidas? Terá vulcões? Montanhas? Oceanos? Vida?

A primeira pessoa que olhou para Vênus por um telescópio foi Galileu, em 1609. O que ele viu foi um disco sem características próprias. Galileu notou que o astro se apresentava em fases, como a Lua, de um fino crescente até um disco pleno, e pela mesma razão: às vezes estamos olhando mais para o lado noturno de Vênus e às vezes para o lado diurno, descoberta que, de maneira incidental, reforça a percepção de que a Terra gira em torno do Sol, e não o contrário. Quando os telescópios ópticos ficaram maiores e sua resolução (ou seja, a capacidade de definição de detalhes finos) aumentou, eles eram sistematicamente voltados para Vênus. Mas não conseguiram nada melhor que o telescópio de Galileu. Vênus, é claro, estava coberto por uma densa camada de uma nuvem que o obscurecia. Quando olhamos para o planeta no céu matutino ou vespertino, o que vemos é o Sol refletido nas suas nuvens. Mas durante séculos após sua descoberta, a composição dessas nuvens permaneceu desconhecida.

A ausência de qualquer coisa visível em Vênus levou alguns cientistas à curiosa conclusão de que a superfície era pantanosa, como a da Terra no período Carbonífero. O argumento — se é que

podemos dignificá-lo com essa palavra — era algo como:

“Não consigo ver nada em Vênus.”
“Por que não?”
“Porque está todo coberto de nuvens.”
“De que são feitas as nuvens?”
“De água, é claro.”
“Então por que as nuvens de Vênus são mais espessas que as da Terra?”
“Porque há mais água nelas.”
“Mas se há mais água nas nuvens, deve haver mais água na superfície. Que tipo de superfícies são mais impregnadas de água?”
“Pântanos.”

E se há pântanos, por que não haveria palmeiras, libélulas e talvez até dinossauros em Vênus? Observação: não havia nada para ver em Vênus. Conclusão: deve estar coberto de vida. As nuvens descaracterizadas de Vênus refletiam nossas próprias predisposições. Estamos vivos e raciocinamos com a ideia de que há vida em toda parte. Mas apenas um cuidadoso acúmulo de evidências e acesso a elas pode nos dizer se determinado mundo é habitado. Vênus acabou não confirmando nossas predisposições.

A primeira pista real da natureza de Vênus veio quando se trabalhou com um prisma feito de vidro ou de uma superfície plana, chamado grade de difração, coberta de finas linhas regularmente espaçadas. Quando um raio de uma intensa luz branca comum passa por uma fenda estreita e depois por um prisma ou uma grade, ele se espalha num arco-íris de cores chamado espectro. O espectro vai das altas frequências[7] da luz visível até as mais baixas — na sequência, violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho. Como enxergamos essas cores, ele é chamado o espectro da luz visível. Mas existe muito mais luz do que a que corresponde a esse pequeno segmento de espectro que conseguimos ver. Nas altas frequências, acima do violeta, fica uma parte do espectro chamada de ultravioleta; um tipo de luz real, que mata micróbios. Para nós é invisível, mas imediatamente detectável por abelhões e células fotoelétricas. Há muito mais coisas no mundo do que podemos ver. Mais além do ultravioleta no espectro está a parte dos raios X, e além dos raios X ficam os raios gama. Nas baixas frequências, abaixo do vermelho, está a parte infravermelha do espectro. Foi descoberta colocando-se um termômetro sensível no que para nossos olhos seria a escuridão que fica abaixo do vermelho. A temperatura subiu. Havia luz incidindo no termômetro, mesmo que invisível a nossos olhos. Cascavéis e semicondutores estimulados detectam com perfeição a radiação infravermelha. Mais além do infravermelho está a vasta região espectral das ondas de rádio. Dos raios gama às ondas de rádio, todas são bandas de luz igualmente respeitáveis. Todas são úteis na astronomia. Porém, devido às limitações de nossos olhos, temos uma deficiência, uma distorção, de só distinguir essa minúscula faixa de arco-íris que chamamos de espectro da luz visível.

Em 1844, o filósofo Auguste Comte estava em busca de um exemplo de um tipo de conhecimento que estivesse sempre oculto. Ele escolheu a composição de estrelas e planetas distantes. Nunca os visitaríamos fisicamente, pensou ele, e, sem dispor de uma amostra, parecia que estaríamos para sempre desprovidos de algum indicador de sua composição. Mas apenas três anos após a morte de Comte, descobriu-se que um espectro pode ser usado para determinar a química de objetos

distantes. Moléculas de elementos químicos diferentes absorvem frequências diferentes de cores de luz, às vezes no espectro visível, às vezes em outros setores do espectro. No espectro de uma atmosfera planetária, uma linha escura representa a imagem da fresta na qual falta a luz, a absorção da luz solar durante sua breve passagem pelo ar de outro mundo. Cada linha dessas é produzida por um tipo específico de moléculas ou átomos. Cada substância tem sua assinatura espectral característica. Os gases de Vênus podem ser identificados da Terra, a 60 milhões de quilômetros de distância. Podemos adivinhar a composição do Sol (na qual o hélio, que recebeu esse nome em homenagem a Hélio, o deus grego do Sol, foi o primeiro elemento a ser descoberto); das estrelas magnéticas A, ricas em európio; de galáxias distantes, analisadas por meio da luz coletiva de centenas de bilhões de estrelas que as constituem. A espectroscopia astronômica é uma técnica quase mágica. Ela ainda me espanta. Auguste Comte escolheu um exemplo particularmente infeliz.

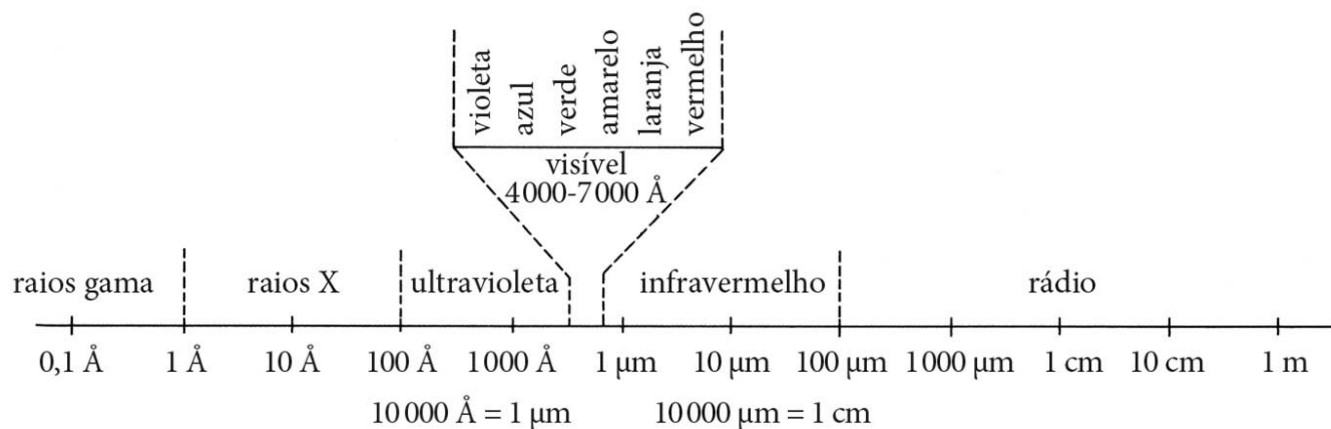



Diagrama esquemático do espectro eletromagnético. O comprimento de onda da luz é medido em angstroms (Å), micrômetros (µm), centímetros (cm) e metros (m).

Se Vênus estivesse encharcado, seria fácil ver as linhas de vapor d'água em seu espectro. Mas as primeiras pesquisas espectroscópicas, realizadas no Observatório Monte Wilson por volta de 1920, não encontraram vestígios, nem sequer um traço, de vapor d'água acima das suas nuvens, o que sugere uma superfície árida, desértica, coberta de nuvens de fino silicato em suspensão. Estudos ulteriores revelaram enormes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera, implicando, para alguns cientistas, que toda a água em Vênus tinha se combinado com hidrocarbonetos para formar dióxido de carbono, e que portanto sua superfície era um campo de óleo global, um mar de petróleo do tamanho de um planeta. Outros concluíram que não havia vapor d'água acima das nuvens porque estas eram muito frias, e que toda a água se condensara em pequenas gotas, que não têm o mesmo padrão de linhas de espectro do vapor d'água. Sugeriram que o planeta estava todo coberto de água — com exceção, talvez, de ocasionais ilhas com incrustações de calcário, como os penhascos de Dover. Mas devido à grande quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, o mar não podia ser de água normal; a química física requeria que fosse água carbonada. Vênus, sugeriram eles, tinha um vasto oceano de água com gás.

O primeiro indício da verdadeira situação não veio de estudos espectroscópicos nas partes visíveis do espectro ou no início do infravermelho, e sim da região do rádio. Um radiotelescópio funciona mais como um medidor de luz do que como uma câmera. Você o aponta para uma região

razoavelmente ampla do céu e ele grava quanta energia, em dada radiofrequência, está sendo enviada para a Terra. Estamos acostumados com sinais de rádio transmitidos por algumas variedades de vida inteligente — a saber, as que operam estações de rádio e de televisão. Mas há muitas outras razões para que objetos naturais emitam ondas de rádio. Uma é o fato de estarem quentes. E quando, em 1956, um dos primeiros radiotelescópios foi apontado para Vênus, descobriu-se que este emitia ondas de rádio como se sua temperatura fosse extremamente alta. Porém a real demonstração de que a superfície venusiana é de uma quentura assombrosa veio quando a nave espacial soviética da série *Venera* penetrou nas nuvens e pousou na misteriosa e inacessível superfície do planeta mais próximo de nós. Vênus, constatou-se, ferve de calor. Não existem pântanos, nem campos de óleo, nem oceanos de água com gás. Quando os dados são insuficientes, é fácil cometer erros.

Ao cumprimentar uma amiga, eu a estou vendo numa luz visível refletida gerada pelo Sol, digamos, ou por uma lâmpada. Os raios de luz se refletem em minha amiga e chegam a meus olhos. Porém os antigos, entre os quais ninguém menos que Euclides, acreditavam que enxergamos em virtude de raios que de algum modo são emitidos pelo olho e atingem de maneira tangível, ativa, o objeto observado. É uma noção natural que ainda há quem adote, embora não explique a invisibilidade de objetos num quarto escuro. Hoje combinamos laser e uma fotocélula, ou um transmissor de radar e um radiotelescópio, e desse modo fazemos contato ativo, usando luz, com objetos distantes. Na astronomia de radar, ondas de rádio são transmitidas por um telescópio na Terra, atingem, digamos, a superfície de Vênus que está voltada para a Terra e são refletidas de volta. As nuvens e a atmosfera desse planeta são transparentes para ondas de rádio em muitos comprimentos de onda. Alguns lugares na superfície as absorverão, ou, se forem muito irregulares, as espalharão para os lados, e com isso aparecerão escuros nas ondas de rádio. Acompanhando a superfície em movimento com a rotação de Vênus, pela primeira vez foi possível determinar de maneira confiável a duração de seu dia — ou seja, em quanto tempo Vênus faz uma rotação completa em torno de seu eixo. Constatou-se que, em relação às estrelas, ele faz uma volta a cada 243 dias da terrestres, mas na direção oposta à das rotações de todos os outros planetas do sistema solar interior. Como resultado, o Sol em Vênus nasce no oeste e se põe no leste; passam-se 118 dias terrestres do nascer ao pôr do sol. Além disso, Vênus apresenta quase exatamente a mesma face voltada para nosso planeta toda vez que está em sua posição mais próxima dele. Conquanto a gravidade da Terra tenha conseguido impor a Vênus esse ritmo de rotação condicionado ao da Terra, isso não pode ter acontecido com rapidez. Vênus não pode ter só alguns milhares de anos e deve, sim, ter a mesma idade de todos os outros objetos no sistema solar interior.

Têm-se obtido imagens de radar de Vênus, algumas de telescópios de radar na superfície terrestre, outras do veículo espacial *Pioneer Venus*, em órbita em torno do planeta. Elas mostram evidências sugestivas de crateras de impacto. Há em Vênus tantas crateras, nem grandes nem pequenas demais, quanto há nas planícies lunares, tantas que ele nos está dizendo mais uma vez que é muito antigo. Mas as crateras ali são notavelmente rasas, quase como se as altas temperaturas da superfície tivessem produzido um tipo de rocha que flui durante longos períodos, como puxa-puxa ou massinha, suavizando de modo gradual o relevo. Existem lá grandes mesas, duas vezes mais altas

que as do Tibete, um imenso vale de fendas, talvez vulcões gigantescos e uma montanha da altura do Everest. Agora vemos diante de nós um mundo que esteve antes oculto por nuvens — seus aspectos explorados pelo radar e por veículos espaciais.

A temperatura da superfície em Vênus, deduzida da radioastronomia e confirmada por medições diretas de naves espaciais, está por volta de 480 graus Celsius, ou novecentos graus Fahrenheit, mais quente que o mais quente forno doméstico. A correspondente pressão, na superfície, é de noventa atmosferas, noventa vezes a pressão que suportamos da atmosfera terrestre, equivalente ao peso sobre a água um quilômetro abaixo da superfície do oceano. Para sobreviver algum tempo no planeta, um veículo espacial teria de ser refrigerado e também ter a estrutura de um submersível de grandes profundidades.

Algo como uma dúzia de veículos espaciais da União Soviética e dos Estados Unidos entrou na densa atmosfera de Vênus e penetrou nas nuvens; alguns sobreviveram por uma hora, se tanto, na superfície.[8] Duas naves espaciais da série soviética *Venera* tiraram fotografias. Continuemos no rastro dessas missões pioneiras e visitemos outros mundos.

Na luz visível normal, as nuvens ligeiramente amareladas de Vênus podem ser divisadas, mas não mostram, como notou Galileu da primeira vez, nenhuma particularidade. Se as câmeras observarem luz ultravioleta, porém, vemos um gracioso, complexo e rodopiante sistema climático na alta atmosfera, onde os ventos alcançam cerca de cem metros por segundo, 360 mil quilômetros por hora. A atmosfera em Vênus é composta de 96% de dióxido de carbono. Há tênues traços de nitrogênio, vapor d'água, argônio, monóxido de carbono e outros gases, mas os únicos hidrocarbonetos ou carboidratos presentes são em menos de 0,1 parte por milhão. As nuvens venusianas demonstram ser sobretudo uma solução concentrada de ácido sulfúrico. Pequenas quantidades de ácido clorídrico e ácido fluorídrico também estão presentes. Mesmo nessas nuvens elevadas e frias Vênus mostra-se um lugar absolutamente detestável.

Bem acima da cobertura de nuvens visível, a cerca de setenta quilômetros de altitude, há uma contínua névoa formada por partículas. Aos sessenta quilômetros mergulhamos nas nuvens e nos vemos cercados por gotas de ácido sulfúrico concentrado. À medida que vamos mais fundo, as partículas da nuvem tendem a ser maiores. Traços desse gás acre, dióxido de enxofre, ou SO_2, estão presentes na atmosfera inferior. Ele é posto para circular acima das nuvens, é fragmentado pela luz ultravioleta do Sol e lá recombinado com água para formar o ácido sulfúrico — que se condensa em gotículas, se fixa e em altitudes mais baixas é de novo fragmentado pelo calor para SO_2 e água, completando o ciclo. Está sempre chovendo ácido sulfúrico em Vênus, em todo o planeta, e nem uma só gota jamais chega à superfície.

A névoa cor de enxofre estende-se para baixo até uns 45 quilômetros acima da superfície, onde emergimos numa atmosfera densa, porém clara como cristal. No entanto, a pressão atmosférica é tão alta que não é possível avistar a superfície. A luz do sol vai se refletindo nas moléculas da atmosfera até que se perde toda imagem dela. Ali não existe poeira, nem nuvens, só uma atmosfera que vai ficando sensivelmente mais densa. Uma grande quantidade de luz solar é transmitida pelas nuvens acima, quase tanta quanto a de um dia claro na Terra.

Com um calor escaldante, pressões esmagadoras, gases nocivos, tudo diluído num estranho

brilho avermelhado, Vênus parece ser menos uma deusa do amor do que a encarnação do inferno. Até onde podemos perceber, ao menos certos lugares na superfície se alastram em campos de rochas misturadas, amaciadas e irregulares, uma paisagem hostil, árida, apenas aliviada aqui e ali por remanescentes erodidos de uma abandonada nave espacial vinda de um planeta distante, invisível por completo na espessa, nebulosa e tóxica atmosfera.[9]

Vênus é um tipo de catástrofe de dimensões planetárias. Agora parece ser razoavelmente claro que a alta temperatura da superfície acontece devido a um imenso efeito estufa. A luz do Sol passa pela atmosfera e pelas nuvens, que são semitransparentes à luz visível, e chega à superfície. Esta, aquecida, irradia o calor de volta para o espaço. Mas como Vênus é muito mais frio do que o Sol, emite radiação sobretudo na faixa do infravermelho e não na região visível do espectro. Contudo, como o dióxido de carbono e o vapor d'água[10] na sua atmosfera são quase totalmente opacos à radiação infravermelha, o calor do Sol fica eficientemente retido e a temperatura da superfície se eleva — até que a pequena quantidade de radiação infravermelha que escapa dessa atmosfera maciça contrabalance a luz do Sol absorvida na atmosfera inferior e na superfície.

Nosso mundo vizinho demonstra ser um lugar sombrio e desagradável. Mas voltaremos a Vênus. Ele é fascinante por si só. Muitos heróis das mitologias grega e nórdica, afinal, empreenderam celebrados esforços para visitar o inferno. E há muita coisa a ser aprendida sobre nosso planeta, um paraíso quando o comparamos com o inferno.

A Esfinge, metade humana metade leão, foi construída há mais de 5500 anos. Seu rosto foi uma vez claramente definido. Agora é indistinto por causa de milhares de anos de tempestades de areia no deserto egípcio e por chuvas ocasionais. Na cidade de Nova York existe um obelisco chamado Agulha de Cleópatra, que veio do Egito. Só está há cerca de cem anos no Central Park, suas inscrições estão quase apagadas, devido ao *smog* e à poluição industrial — erosão química como a da atmosfera de Vênus. A erosão na Terra apaga devagar a informação, mas por ser gradual — o impacto de uma gota de chuva, a picada de um grão de areia — esse processo pode ser ignorado. Grandes estruturas, como cadeias de montanhas, sobrevivem dezenas de milhões de anos; crateras de impacto menores, talvez 100 mil;[11] e artefatos humanos em grande escala talvez apenas alguns milhares. Em acréscimo a essa erosão lenta e uniforme, a destruição também acontece devido a catástrofes, grandes e pequenas. Na Esfinge, está faltando o nariz. Alguém atirou nele, num momento de ocioso sacrilégio — alguns dizem que foram turcos mamelucos; outros, que foram soldados de Napoleão.

Em Vênus, na Terra e outros lugares no sistema solar, há evidências de destruição catastrófica, amenizada, ou sobrepujada, por processos mais uniformes: na Terra, por exemplo, a chuva, que forma regatos, corredeiras e rios de água corrente, criando enormes bacias aluviais; em Marte, por remanescentes de antigos rios, talvez surgindo de dentro do solo; em Io, uma lua de Júpiter, pelo que parecem ser largos canais formados por uma corrente de enxofre líquido. Há poderosos sistemas meteorológicos na Terra — e na alta atmosfera de Vênus e em Júpiter. Há tempestades de areia na Terra e em Marte; relâmpagos em Júpiter, Vênus e na Terra. Vulcões atiram detritos nas atmosferas da Terra e de Io. Processos geológicos internos deformam a superfície de Vênus, Marte, Ganimedes e Europa, bem como da Terra. Geleiras, proverbiais em sua lentidão, produzem grandes

reconfigurações de paisagens na Terra e talvez também em Marte. Esses processos não precisam ser constantes no tempo. A maior parte da Europa esteve uma vez coberta de gelo. Poucos milhões de anos atrás o lugar onde hoje fica Chicago estava soterrado, debaixo de três quilômetros de gelo. Em Marte, e em outros lugares do sistema solar, vemos estruturas que não poderiam ser produzidas hoje em dia, paisagens entalhadas centenas de milhões ou bilhões de anos atrás, quando o clima do planeta era provavelmente muito diferente.

Há um fator adicional que pode alterar a paisagem e o clima da Terra: a vida inteligente, capaz de produzir grandes alterações ambientais. Como Vênus, a Terra também tem um efeito estufa devido à presença de dióxido de carbono e vapor d'água. A temperatura global terrestre estaria abaixo do ponto de congelamento não fosse o efeito estufa. Ele mantém os oceanos no estado líquido e a vida, possível. Uma pequena estufa é uma coisa boa. Como Vênus, a Terra também tem cerca de noventa atmosferas de dióxido de carbono; mas ele fica na crosta como calcário e outros carbonatos, não na atmosfera. Se a Terra se aproximasse apenas um pouquinho do Sol, a temperatura aumentaria ligeiramente. Isso libertaria algum CO_2 da superfície das rochas, gerando um efeito estufa mais forte, o que por sua vez elevaria a temperatura ainda mais. Uma superfície mais quente aumentaria a vaporização de ainda mais carbonatos em CO_2, e haveria a possibilidade de um efeito estufa descontrolado que levaria a temperaturas muito altas. É isso que achamos ter ocorrido na história pregressa de Vênus, devido à sua proximidade em relação ao Sol. O ambiente na superfície venusiana é uma advertência: algo catastrófico pode acontecer a um planeta bem parecido com o nosso.

As principais fontes de energia de nossa atual civilização industrial são os chamados combustíveis fósseis. Queimamos madeira e petróleo, carvão e gás natural, e no processo libertamos no ar gases residuais, sobretudo CO_2. Como resultado disso, o dióxido de carbono contido na atmosfera da Terra está aumentando de maneira impressionante. A possibilidade de haver um efeito estufa fora de controle sugere que devemos ser cuidadosos: uma elevação de até mesmo um ou dois graus na temperatura global pode ter consequências catastróficas. Ao queimar carvão, petróleo e gasolina também estamos despejando na atmosfera ácido sulfúrico. Como em Vênus, nossa estratosfera, mesmo agora, tem uma substancial suspensão de gotículas de ácido sulfúrico. Nossas grandes cidades estão poluídas por moléculas nocivas. Não estamos compreendendo os efeitos a longo prazo de nosso curso de ação.

Mas também temos perturbado o clima no sentido oposto. Durante centenas de milhares de anos seres humanos têm queimado e derrubado florestas e encorajado animais domésticos a pastarem e destruírem pradarias. Uma agricultura baseada em desmatamento e queimadas, um desflorestamento tropical industrial e um sobrepastoreio estão hoje em dia desenfreados. Mas florestas são mais escuras do que pastagens, e pastagens, mais do que desertos. Em consequência, a quantidade de luz solar que é absorvida pelo solo tem declinado, e com as mudanças havidas na utilização da terra estamos baixando a temperatura da superfície de nosso planeta. Poderia esse resfriamento aumentar o tamanho da calota de gelo polar, a qual, por ser tão brilhante, refletiria ainda mais calor da Terra, resfriando ainda mais o planeta, criando um ciclo retroalimentado de efeito albedo?[12vii]

Nosso lindo planeta azul, a Terra, é o único possível lar que conhecemos. Vênus é quente demais. Marte é frio demais. Mas a Terra está na medida, é um paraíso para os seres humanos. Afinal, evoluímos aqui. Mas nosso clima tão compatível conosco pode estar instável. Estamos perturbando nosso pobre planeta de um modo muito sério e contraditório. Será que existe algum perigo de estarmos levando o meio ambiente da Terra em direção ao inferno planetário de Vênus ou à era de gelo global de Marte? A resposta simples é que ninguém sabe. O estudo do clima global, a comparação da Terra com outros mundos são temas que ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento. Há setores nessa pesquisa que têm pobre e relutante financiamento. Em nossa ignorância, continuamos nesse empurra-empurra, poluindo a atmosfera e clareando a terra, omissos ao fato de que as consequências a longo prazo são desconhecidas.[viii]

Poucos milhões de anos atrás, quando o homem começou a evoluir na Terra, esta já era um mundo de meia-idade, 4,6 bilhões de anos distante das catástrofes e impetuosidades de sua juventude. Mas nós, seres humanos, representamos agora um novo e talvez decisivo fator. Nossa inteligência e nossa tecnologia nos deram o poder de afetar o clima. Como vamos usar esse poder? Será que vamos querer tolerar a ignorância e a complacência em questões que afetam toda a família humana? Será que vamos sacrificar o bem-estar da Terra para ter vantagens no curto prazo? Ou vamos pensar em escalas mais longas de tempo, por consideração com nossos filhos e nossos netos, para compreender e proteger os complexos sistemas de sustentação da vida de nosso planeta? A Terra é um mundo minúsculo e frágil. Tem de ser amada e bem cuidada.

---

i. A primeira sonda a conseguir cumprir o feito de acompanhar e pousar em um cometa foi a Roseta, da agência espacial europeia (ESA). Esse evento ocorreu apenas em 2014, após um voo pelo espaço que durou uma década até o cometa 67P. (N. R. T.)

ii. Aqui está referido literalmente a uma fronteira imaginária na órbita de Plutão. A "fronteira" do sistema solar, a heliopausa, se encontra muito além de Plutão, para além da região dos cometas. (N. R. T.)

iii. O número atual de satélites naturais conhecidos de Júpiter é de 69 luas. (N. R. T.)

iv. Ceres, o maior dos asteroides, tem diâmetro de quase mil quilômetros. (N. R. T.)

v. Descobertos pela *Voyager*, em 1979, mas ainda hoje estudados. Já em 2009, a Spitzer constatou que Saturno possui um gigantesco sistema de anéis que se estende até 12 milhões de quilômetros de sua órbita. (N. R. T.)

vi. Sabe-se hoje que Netuno possui seis anéis. (N. R. T.)

vii. O clima da Terra para o qual nossa espécie está adaptada se mantém razoavelmente estável através de um delicado equilíbrio entre os processos de perda e de manutenção de calor. Dessa forma, mudanças em grandes escalas nas condições do planeta podem em princípio desencadear um aumento ou diminuição abrupta das temperaturas médias, tendo consequências catastróficas. Hoje em dia há um consenso na comunidade científica de que a preocupação mais importante para as nossas e para as futuras gerações é controlar o aquecimento global, cuja principal causa é a atividade humana, conforme atestado pelo painel Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC). (N. R. T.)

viii. Não mais desconhecidas, graças ao esforço conjunto da comunidade científica, investimento em pesquisa, desenvolvimentos tecnológicos etc. (N. R. T.)

5. Blues para um planeta vermelho

Nos pomares dos deuses, ele vigia os canais…

Enuma Elish, Suméria, *c.* 2500 a.C.

Um homem que tem a opinião de Copérnico, de que esta nossa Terra é um planeta, que se move em torno do Sol e é iluminada por ele, como o resto deles, não pode, a não ser às vezes, ter uma fantasia […] de que o resto dos planetas tem suas roupas e móveis, e de fato seus habitantes, assim como esta nossa Terra […]. Mas sempre estivemos aptos a concluir que foi inútil indagar o que a Natureza se comprouve em fazer, vendo que não era provável sequer chegar ao fim dessa indagação […] mas pouco tempo atrás, pensando um tanto seriamente nesse assunto (não que me considere como tendo uma visão mais ágil do que aqueles grandes homens [do passado], mas sim que tenho a felicidade de viver após a maioria deles), acho que essa indagação não era tão impraticável nem que era para ser detida por dificuldades, e que foi deixado um espaço muito bom para prováveis conjecturas.

Christiaan Huygens, *Novas conjecturas a respeito de mundos planetários, seus habitantes e suas produções*, *c.* 1690

Muitos anos atrás, assim conta a história, um célebre editor de jornal enviou um telegrama a um conhecido astrônomo: ENVIE SEM DEMORA TEXTO COM QUINHENTAS PALAVRAS SOBRE SE EXISTE VIDA EM MARTE. O astrônomo, obediente, respondeu: NINGUÉM SABE, NINGUÉM SABE, NINGUÉM SABE, 250 vezes. Mas apesar dessa confissão de ignorância, feita com teimosa persistência por um especialista, ninguém prestou a menor atenção, e de lá para cá ouvimos afirmações categóricas daqueles que pensam ter deduzido que há vida em Marte e daqueles que excluem essa possibilidade. Algumas pessoas querem muito que haja vida em Marte, outras querem muito que não. Têm havido excessos nos dois campos. Essas paixões fortes comprometeram um pouco a tolerância com a ambiguidade que é essencial para a ciência. Parece que há muita gente que apenas quer uma resposta, qualquer resposta, e portanto foge do ônus de ter na cabeça, ao mesmo tempo, duas possibilidades mutuamente excludentes. Alguns cientistas acreditaram que Marte é habitado com base no que mais tarde se provou ser uma evidência das mais frágeis. Outros concluíram que ali não há vida porque uma busca preliminar por uma manifestação específica de vida não teve sucesso ou foi ambígua. Blues têm sido tocados mais de uma vez para o planeta vermelho.

Por que marcianos? Por que tantas ansiosas especulações e ardentes fantasias sobre marcianos, e não, digamos, sobre saturninos, ou plutonianos? Porque Marte parece, a um primeiro olhar, ser muito parecido com a Terra. É o planeta mais próximo cuja superfície podemos ver. Tem calotas polares de gelo, nuvens brancas à deriva, furiosas tempestades de areia, padrões que mudam em sua superfície vermelha segundo as estações, até mesmo um dia de 24 horas. É tentador pensar que é um mundo habitado. Marte tornou-se uma espécie de arena mítica na qual projetamos nossas esperanças e medos terrenos. Porém nossas predisposições psicológicas pró ou contra não devem nos enganar. Só a evidência interessa, e ainda não há evidência. O Marte verdadeiro é um mundo de

maravilhas. Suas perspectivas futuras são muito mais intrigantes do que as apreensões sobre ele no passado. Em nossa época, já peneiramos suas areias, já estabelecemos uma presença lá, já realizamos um século de sonhos!

> Nos últimos anos do século XIX ninguém teria acreditado que este mundo estivesse sendo observado aguçada e minuciosamente por inteligências maiores que a do homem e tão mortais quanto a dele; que enquanto os homens se ocupavam com seus próprios assuntos eles estavam sendo examinados e estudados, talvez com quase a mesma precisão com que um homem ao microscópio examina as criaturas transientes que enxameiam e se multiplicam numa gota d'água. Com uma complacência infinita, os homens vão e vêm por este globo cuidando de seus pequenos negócios, em sua serena certeza de seu domínio sobre a matéria. É possível que aquelas criaturas unicelulares sob o microscópio estejam fazendo a mesma coisa. Ninguém pensou nos mundos mais antigos do espaço como fontes de perigo para o homem, ou só pensou neles para descartar a ideia de que contenham vida como impossível ou improvável. É curioso relembrar alguns dos hábitos mentais daqueles tempos idos. No máximo, homens terrestres fantasiaram que pudesse haver outros homens em Marte, talvez inferiores a eles e dispostos a dar as boas-vindas a um empreendimento missionário. Mas no outro lado do abismo do espaço, mentes que estão para as nossas assim como as nossas estão para as desses animais perecíveis, intelectos vastos, frios e insensíveis observaram esta Terra com olhos invejosos, e lenta e seguramente traçaram seus planos contra nós.

Essas linhas de abertura do clássico de ficção científica *A guerra dos mundos*, de H. G. Wells, de 1897, mantêm seu obsedante poder até hoje.[1] Durante toda a nossa história tem havido o medo, ou a esperança, de que possa existir vida além da Terra. Nos últimos cem anos essa premonição focou um brilhante ponto vermelho de luz no céu noturno. Três anos antes da publicação de *A guerra dos mundos*, um bostoniano chamado Percival Lowell fundou um grande observatório onde se desenvolveram as mais elaboradas alegações que afirmavam a existência de vida em Marte. Lowell lidava com astronomia desde jovem, foi para Harvard, teve uma indicação diplomática semioficial para servir na Coreia e no mais se envolveu nas atividades usuais dos abastados. Antes de morrer, em 1916, tinha feito grandes contribuições para nosso conhecimento da natureza e da evolução dos planetas, para deduções quanto à expansão do universo e, de maneira decisiva, para a descoberta do planeta Plutão, cujo nome é uma homenagem a ele. As duas primeiras letras do nome Plutão são as iniciais de Percival Lowell. Seu símbolo é , um monograma planetário.

Porém o amor da vida de Lowell era o planeta Marte. Ele ficou eletrizado com o anúncio em 1877, feito pelo astrônomo italiano Giovanni Schiaparelli, da existência dos *canali* em Marte. Schiaparelli tinha relatado, durante uma aproximação de Marte à Terra, uma intricada rede de linhas isoladas e duplas que se cruzavam em áreas brilhantes do planeta. *Canali* em italiano significa canais, ou sulcos, mas em inglês não foi traduzido para *channels*, e sim para *canals*, palavra que implica um projeto inteligente. Uma verdadeira obsessão por Marte tomou conta da Europa e dos Estados Unidos, e Lowell se deixou levar por ela.

Em 1892, com a visão deficiente, Schiaparelli anunciou que estava abandonando a observação de Marte. Lowell resolveu dar continuidade ao trabalho. Ele queria um local de primeira linha para a observação, sem a perturbação de nuvens ou das luzes de uma cidade, e com um bom "*seeing*", termo usado pelos astrônomos para indicar uma atmosfera estável através da qual a cintilação de uma imagem astronômica ao telescópio é minimizada. Um *seeing* ruim é causado por turbulências em pequena escala na atmosfera acima do telescópio, que causa o efeito de cintilação das estrelas. Lowell construiu seu observatório bem longe de casa, em Mars Hill, Flagstaff, Arizona.[2] Ele

esboçou as características da superfície de Marte, em especial os canais, que o hipnotizaram. Observações desse tipo não são fáceis. Ficam-se horas ao telescópio, no frio da madrugada. Muitas vezes o *seeing* é ruim, e a imagem de Marte está borrada e distorcida. Então é preciso ignorar o que se viu. Vez ou outra a imagem se estabiliza e as características do planeta aparecem nítidas por um instante, maravilhosamente. Então é preciso gravar na memória o que foi concedido e registrar isso no papel com precisão. Deve-se pôr os preconceitos de lado e com a mente aberta registrar os prodígios de Marte.

Os cadernos de anotações de Percival Lowell estão cheios do que ele pensou ter visto: áreas claras e áreas escuras, um indício de uma calota polar e canais, um planeta adornado com canais. Lowell acreditava estar vendo ao redor de todo o globo planetário uma rede de grandes fossos de irrigação, que levavam água derretida das calotas polares para os habitantes de cidades equatoriais. Acreditava que o planeta era habitado por uma raça mais velha e mais sábia, talvez muito diferente de nós. Acreditava que as mudanças sazonais nas áreas escuras se deviam ao crescimento e declínio de vegetação. Acreditava que Marte era muito parecido com a Terra. No fim das contas, ele acreditou demais.

Lowell evocou um Marte que era muito antigo, árido, ressecado, um mundo desértico. Ainda assim, um deserto como os da Terra. O Marte de Lowell tinha muitas características comuns com o Sudoeste dos Estados Unidos, onde estava localizado o Observatório Lowell. Ele imaginou as temperaturas marcianas mais para frias, mas ainda confortáveis, como no "Sul da Inglaterra". O ar era tênue, mas com oxigênio bastante para ser respirável. A água era rara, mas a elegante rede de canais levava o fluido da vida para todo o planeta.

O que foi, em retrospecto, o mais sério desafio contemporâneo às ideias de Lowell veio de uma fonte inesperada. Em 1907, pediram a Alfred Russel Wallace, codescobridor da evolução pela seleção natural, que revisse um dos cadernos de Lowell. Ele tinha sido engenheiro na juventude e, embora um tanto crédulo em questões como a percepção extrassensorial, era admiravelmente cético quanto à habitabilidade de Marte. Wallace demonstrou que Lowell errara em seus cálculos das temperaturas médias de Marte: em vez de serem temperadas, como no Sul da Inglaterra, elas estavam, com poucas exceções, sempre abaixo do ponto de congelamento da água. Deveria haver um *permafrost*, uma subsuperfície perpetuamente congelada. O ar era muito mais rarefeito do que Lowell tinha calculado. Crateras seriam tão abundantes quanto na Lua. E quanto à água nos canais:

> Toda tentativa de fazer esse escasso excedente [de água], por meio de inundação de canais, viajar para além do equador para o hemisfério oposto, através de tão terríveis regiões desérticas e exposto ao céu sem nuvens descrito pelo sr. Lowell, seria obra de um grupo formado por loucos, e não por seres inteligentes. Pode-se afirmar com segurança que nem uma só gota de água escaparia à evaporação ou de ser absorvida pela terra seca, mesmo a centenas de quilômetros de sua origem.

Essa devastadora e correta análise física foi escrita quando Wallace tinha 84 anos. Sua conclusão foi que a vida em Marte — ele se referia à opinião de engenheiros civis com interesse em hidráulica — era impossível. Não emitiu opinião no que concerne a micro-organismos.

Apesar da crítica de Wallace, e apesar do fato de que outros astrônomos com telescópios e locais de observação tão bons quanto o de Lowell não acharam sinais dos fabulosos canais, a visão de

Lowell sobre Marte teve aceitação popular. Tinha uma qualidade mítica tão antiga quanto o Gênese. Parte de seu apelo vinha do fato de que o século XIX era uma época de maravilhas da engenharia, entre elas a construção de enormes canais: o canal de Suez, completado em 1869; o canal de Corinto, em 1893; o canal do Panamá, em 1914; e, mais perto de casa, as eclusas do Grande Lago, os canais para barcaças no norte do estado de Nova York e os canais de irrigação da American Southwest. Se europeus e americanos podiam realizar esses feitos, por que não marcianos? Não poderia haver um esforço ainda mais elaborado empreendido por uma espécie mais antiga e mais sábia, combatendo de maneira corajosa a dessecação do planeta vermelho?

Já pusemos satélites de reconhecimento em órbita em torno de Marte. O planeta inteiro foi mapeado. Já pousamos dois laboratórios automáticos em sua superfície. Se algo mudou quanto aos mistérios de Marte, foi que estes se aprofundaram, desde a época de Lowell. No entanto, com imagens muito mais detalhadas do que qualquer vista de Marte que Lowell possa ter divisado, não se descobriu um tributário da alardeada rede de canais, nem uma eclusa. Lowell, Schiaparelli e outros, fazendo observações visuais sob condições adversas, foram iludidos — em parte, talvez, devido a sua predisposição para acreditar que há vida em Marte.

Os cadernos de anotações com as observações de Percival Lowell refletem um esforço contínuo ao telescópio durante muitos anos. Mostram que Lowell estava bem consciente do ceticismo expresso por outros astrônomos quanto à realidade dos canais. Revelam um homem convencido de que tinha feito uma descoberta importante, aborrecido com o fato de que outros ainda não compreendiam seu significado. Em suas anotações de 1905, por exemplo, há uma entrada em 21 de janeiro: "Canais duplos aparecem em lampejos, convencendo quanto à realidade". Lendo as anotações de Lowell, tenho a desconfortável porém nítida sensação de que ele estava mesmo vendo alguma coisa. Mas o quê?

Quando Paul Fox, da Cornell, e eu comparamos os mapas de Marte elaborados por Lowell com as imagens feitas na órbita da *Mariner 9* — às vezes com uma resolução mil vezes superior à do telescópio refrator terrestre de Lowell, de 24 polegadas —, não encontramos virtualmente nenhuma correlação. Não que os olhos de Lowell tenham interpretado os finos e desconexos detalhes na superfície marciana como ilusórias linhas retas. Não havia manchas escuras nem cadeias de crateras na posição da maior parte dos canais. Não havia ali marcas indicativas de nada. Como então ele conseguira desenhar os mesmos canais ano após ano? Como puderam outros astrônomos — alguns dos quais disseram não ter examinado em detalhes os mapas de Lowell a não ser depois de suas próprias observações — ter desenhado os mesmos canais? Uma das grandes descobertas da missão da *Mariner 9* em Marte foi que há marcas e manchas na sua superfície que variam com o tempo — muitas delas conectadas com barreiras de crateras de impacto — e mudam de acordo com a estação. Devem-se à areia soprada pelo vento, e seus padrões mudam com a variação dos ventos sazonais. Mas as manchas não têm características de canais, não estão na posição dos canais e nenhuma delas é, sozinha, grande o bastante para ser vista da Terra, para começar. É improvável que tenha havido características reais em Marte parecidas, mesmo que tenuamente, com os canais de Lowell, nas primeiras décadas do século XX, que desapareceram sem deixar traço assim que se tornaram possíveis imagens em close nas investigações de naves espaciais.

Os canais de Marte parecem ser resultado de algum mau funcionamento, em condições de visibilidade difíceis, da combinação mão/olho/cérebro humanos (ao menos para alguns seres humanos: muitos outros astrônomos, observando com instrumentos de qualidade igual, na época de Lowell e depois, alegaram que não havia canal algum). Mas essa possibilidade está longe de explicar tudo, e tenho a irritante suspeita de que alguns aspectos essenciais do problema dos canais de Marte ainda não estão esclarecidos. Lowell dizia sempre que a regularidade dos canais era sinal inconfundível de que eram de origem inteligente. Isso sem dúvida é verdade. A única questão não resolvida era de que lado do telescópio estava essa inteligência.

Os marcianos de Lowell eram benévolos e esperançosos, até um pouco divinos, muito diferentes da ameaça maligna apresentada por Wells e Welles em *A guerra dos mundos*. Mas as ideias quanto a esse tema entravam na imaginação do público via suplementos de domingo dos jornais e ficção científica. Lembro-me de ter lido quando criança, com um fascínio ofegante, os romances sobre Marte de Edgar Rice Burroughs. Fiz, junto com John Carter, distinto aventureiro da Virgínia, a jornada para “Barsoom”, como Marte era chamado por seus habitantes. Acompanhei hordas de animais de carga com oito patas, os thoats. Conquistei a mão da adorável Dejah Thoris, princesa de Helium. Fiz amizade com um guerreiro verde de quatro metros de altura chamado Tars Tarkas. Vagueei pelas cidades em espirais e estações de bombeamento abobadadas de Barsoom, e ao longo das margens verdejantes dos canais Nilosyrtis e Nepenthes.

Seria possível — na realidade e não na fantasia — aventurarmo-nos com John Carter no Reino de Helium, no planeta Marte? Poderíamos nos arriscar, numa noite de verão, nosso caminho iluminado pelas duas céleres luas de Basroom, numa jornada de grande aventura científica? Mesmo tendo sido todas as conclusões de Lowell sobre Marte, entre as quais a existência dos fabulosos canais, um fracasso total, sua descrição do planeta teve pelo menos esta virtude: levou gerações de crianças de oito aos, eu entre elas, a considerar que a exploração dos planetas era uma possibilidade real, a se perguntar se nós mesmos poderíamos um dia viajar para Marte. John Carter chegou lá ficando de pé em campo aberto, estendendo as mãos e desejando. Lembro-me de ter passado muitas horas de minha infância, braços resolutamente estendidos, num campo aberto, implorando que o que eu acreditava ser Marte me transportasse para lá. Nunca funcionou. Devia haver outra maneira.

Assim como organismos, máquinas também têm sua evolução. O foguete começou, bem como a pólvora que de início o impulsionava, na China, onde era usado para fins cerimoniais e estéticos. Importado para a Europa por volta do século XIV, foi usado como arma de guerra, considerado no fim do século XIX, pelo professor de escola russo Konstantin Tsiolkovsky, como meio de transporte para os planetas, e pela primeira vez desenvolvido com seriedade pelo cientista americano Robert Goddard. O foguete militar alemão V-2, da Segunda Guerra Mundial, empregou quase todas as inovações de Goddard e culminou em 1948 no lançamento em dois estágios da combinação V-2/WAC Corporal, a uma altitude sem precedentes de quatrocentos quilômetros. Na década de 1950, avanços na engenharia organizados por Sergei Korolov na União Soviética e Wernher von Braun nos Estados Unidos, financiados como sistemas de condução de armas de destruição em massa, levaram aos primeiros satélites artificiais. O ritmo do progresso continuou sendo muito rápido: voos orbitais tripulados; humanos circulando em órbitas, depois o pouso na Lua; e naves espaciais

não tripuladas lançadas rumo aos limites exteriores do sistema solar. Muitas outras nações lançaram naves espaciais, entre elas a Inglaterra, a França, o Canadá, o Japão e a China, a sociedade que inventou o foguete que deu início a tudo.

Entre as primeiras aplicações do foguete espacial, que Tsiolkovsky e Goddard (o qual quando jovem tinha lido Wells e foi incentivado pelas palestras de Percival Lowell) se compraziam em imaginar, estavam uma estação científica em órbita para monitorar a Terra de uma grande altitude e uma sonda para procurar vida em Marte. Ambos os sonhos agora foram realizados.

Imagine-se como um visitante alienígena, de outro planeta, aproximando-se da Terra sem ter sobre ela nenhuma concepção prévia. Sua visão dela vai melhorando à medida que você chega cada vez mais perto e mais e mais detalhes surgem. Será que o planeta é habitado? Em que momento você será capaz de chegar a essa conclusão? Se houver seres inteligentes, talvez tenham criado estruturas de engenharia com componentes de alto contraste, numa escala de alguns quilômetros, estruturas detectáveis quando os sistemas ópticos combinados com a distância até a Terra permitem uma resolução em nível de quilômetro. Mesmo nesse grau de detalhe, o planeta parece ser todo árido. Não há sinal de vida, inteligente ou não, em lugares que chamamos de Washington, Nova York, Boston, Moscou, Londres, Paris, Berlim, Tóquio e Beijing. Se há seres inteligentes na Terra, eles não modificaram muito a paisagem, considerando os padrões geométricos regulares numa resolução em escala de quilômetro.

Mas quando melhoramos a resolução dez vezes, quando começamos a discernir detalhes com cem metros de diâmetro, a situação muda. Muitos lugares na Terra de repente se cristalizam, revelando um padrão intricado de quadrados e retângulos, linhas retas e círculos. Esses são, de fato, os artefatos de engenharia de seres inteligentes: estradas, autoestradas, canais, fazendas, ruas de cidades — padrão que descortina as paixões gêmeas dos humanos pela geometria euclidiana e pela territorialidade. Nessa escala, pode-se discernir vida inteligente em Boston, Washington e Nova York. E numa resolução de dez metros, o grau em que a paisagem foi modificada torna-se pela primeira vez de fato evidente. Os humanos têm estado muito ocupados. Essas fotos foram tiradas à luz do dia. Mas no crepúsculo, ou durante a noite, outras coisas são visíveis: fogo em poços de petróleo na Líbia e no golfo Pérsico; iluminação de águas submarinas profundas pelos pesqueiros de lula japoneses; as luzes brilhantes das grandes cidades. E se, durante o dia, melhoramos ainda mais a resolução para enxergar coisas num raio de um metro, começamos a detectar pela primeira vez organismos individuais — baleias, vacas, flamingos, pessoas.

A vida inteligente na Terra se revela através da regularidade geométrica de suas construções. Se a rede de canais de Lowell existisse de fato, a conclusão de que Marte é habitado por seres inteligentes seria da mesma forma convincente. Se a vida ali fosse detectada por meios fotográficos, até a partir de sua órbita, é muito provável que ela tivesse promovido uma grande reconfiguração da superfície. Civilizações técnicas, construtoras de canais, seriam fáceis de detectar. Mas, com exceção de uma ou duas características enigmáticas, nada disso é aparente na estranha profusão de detalhes na superfície marciana, descobertos por espaçonaves não tripuladas. Há, contudo, muitas outras possibilidades, que vão de grandes plantas e animais a micro-organismos e até a formas extintas, para um planeta que é hoje e sempre foi desprovido de vida. Como Marte está mais

afastado do Sol do que a Terra, suas temperaturas são bem mais baixas. O ar é rarefeito, contendo em especial dióxido de carbono, mas também hidrogênio e argônio em nível molecular, e muito pouca quantidade de vapor d'água, oxigênio e ozônio. A existência de massas de água em estado líquido a céu aberto é hoje impossível porque a pressão atmosférica em Marte é baixa demais para evitar que mesmo a água fria ferva com rapidez. Pode haver quantidades diminutas de água em estado líquido em poros e capilares dentro do solo. A quantidade de oxigênio é, de longe, pequena demais para a respiração humana. A presença de ozônio é tão ínfima que a radiação ultravioleta do Sol, que é germicida, chega sem impedimento à superfície de Marte. Poderia algum organismo sobreviver em tal meio ambiente?

Para testar isso, muitos anos atrás meus colegas e eu preparamos câmaras que simulavam o meio ambiente marciano como era então conhecido, inoculamos nele micro-organismos terrestres e esperamos para ver se algum sobreviveria. Essas câmaras são chamadas, por motivos óbvios, de "potes de Marte". Nelas as temperaturas variam de maneira cíclica dentro do típico âmbito marciano, desde um pouco acima do ponto de congelamento, por volta do meio-dia, até oitenta graus Celsius negativos logo antes do amanhecer, numa atmosfera anóxica composta sobretudo de CO_2 e N_2. Lâmpadas de luz ultravioleta reproduzem a feroz incidência de fluxo solar. Não havia presença de água em estado líquido, exceto películas muito finas que umedeciam determinados grãos de areia. Alguns micróbios morreram congelados após a primeira noite e nunca mais se ouviu falar deles. Outros agonizaram e pereceram por falta de oxigênio. Alguns morreram de sede e alguns foram fritados pela luz ultravioleta. Mas sempre havia um bom número de variedades de micróbios terrestres que não precisam de oxigênio; alguns se recolhiam por algum tempo quando as temperaturas ficavam muito baixas; outros se escondiam da luz ultravioleta atrás de pedrinhas ou de camadas finas de areia. Em outros experimentos, quando estavam presentes pequenas quantidades de água em estado líquido, os micróbios efetivamente cresciam. Se micróbios terrestres conseguem sobreviver no meio ambiente de Marte, tanto melhor micróbios marcianos, se é que existem, o farão em Marte. Mas antes temos de chegar lá.

A União Soviética mantém um programa ativo de exploração planetária não tripulada. A cada um ou dois anos as posições relativas dos planetas e a física de Kepler e Newton permitem o lançamento de espaçonaves para Marte ou Vênus com um mínimo de dispêndio de energia. Desde o início da década de 1960 os soviéticos deixaram escapar poucas dessas oportunidades. Sua persistência e a qualidade de sua engenharia foram mais tarde bem recompensadas. Cinco espaçonaves — *Veneras* de 8 a 12 — pousaram em Vênus e enviaram dados sobre a superfície, feito nada insignificante numa atmosfera planetária tão quente, densa e corrosiva. Porém, apesar de muitas tentativas, a União Soviética nunca conseguiu um pouso bem-sucedido em Marte — lugar que, ao menos à primeira vista, parece ser mais hospitaleiro, com temperaturas muito frias, uma atmosfera muito mais rarefeita e gases mais benignos; com calotas polares geladas, céus cor-de-rosa e claros, grandes dunas de areia, antigos leitos de rio, um vasto vale *rift*, ou vale de fendas, a maior formação vulcânica, até onde sabemos, no sistema solar, e tardes amenas no verão equatorial. É um mundo muito mais parecido com a Terra do que Vênus.

Em 1971, a espaçonave soviética *Mars 3* entrou na atmosfera marciana. Segundo a informação

transmitida automaticamente pelo rádio, ela ajustou seus sistemas de pouso durante a entrada, orientou de maneira correta seu escudo de ablação para baixo, disparou apropriadamente seu grande paraquedas e acionou seus retrofoguetes já no fim da trajetória de descida. De acordo com os dados enviados pela *Mars 3*, ela deveria ter conseguido pousar no planeta vermelho. Mas depois de atingir o solo a espaçonave enviou à Terra um fragmento de vinte segundos de uma imagem de televisão descaracterizada e depois, misteriosamente, deixou de funcionar. Em 1973, uma sequência de eventos muito semelhante ocorreu com a *Mars 6*, tendo acontecido a falha, nesse caso, um segundo após o pouso. O que deu errado?

A primeira ilustração com a *Mars 3* que vi foi num selo do correio soviético (no valor de dezesseis copeques) e mostrava a espaçonave descendo através de uma espécie de humo de cor púrpura. O artista tinha tentado, pensei, ilustrar poeira e fortes ventos: a *Mars 3* teria entrado na atmosfera marciana em meio a uma enorme tempestade de areia global. Temos evidências, colhidas na missão da *Mariner 9*, de que ventos a mais de 140 metros por segundo junto à superfície — mais da metade da velocidade do som em Marte — sopravam nessa tempestade. Tanto nossos colegas soviéticos quanto nós achamos que talvez esses fortes ventos tenham atingido a *Mars 3* com o paraquedas aberto, e assim ela pousou com suavidade com o paraquedas na vertical, mas adquiriu velocidade vertiginosa com ele na horizontal. Uma espaçonave que desce sob a cobertura de um grande paraquedas está especialmente vulnerável a ventos horizontais. Depois do pouso, a *Mars 3* deve ter quicado algumas vezes, se chocado com uma rocha ou outra incidência qualquer do relevo marciano, tombado, perdido a conexão de rádio com seu "ônibus" e parado de funcionar.

Mas por que ela fez sua entrada no meio de uma grande tempestade de areia? A missão tinha sido organizada com precisão antes do lançamento. Cada passo do que a espaçonave deveria realizar foi carregado em seu computador de bordo antes de ela deixar a Terra. Não houve uma oportunidade para mudar o programa do computador, mesmo quando ficou clara qual seria a extensão da grande tempestade de areia de 1971. No jargão da exploração espacial, a missão *Mars 3* foi pré-programada, não adaptável. A falha da *Mars 6* é mais misteriosa. Não havia uma tempestade de âmbito planetário quando a espaçonave entrou na atmosfera marciana, nem motivo para suspeitar de uma tempestade local, como acontece às vezes no lugar do pouso. Talvez tenha havido uma falha de engenharia bem no momento do toque no solo. Ou talvez haja alguma coisa particularmente perigosa na superfície marciana.

A combinação dos sucessos soviéticos nos pousos em Vênus com os fracassos dos pousos em Marte nos causaram, é claro, certa apreensão quanto à missão americana *Viking*, que tinha sido informalmente programada para pousar com suavidade um de seus dois veículos na superfície marciana no bicentenário da independência dos Estados Unidos, em 4 de julho de 1976. Como em suas predecessoras soviéticas, a manobra de pouso da *Viking* envolvia um escudo de ablação, um paraquedas e retrofoguetes. Como a atmosfera marciana só tem 1% da densidade da atmosfera terrestre, foi instalado um grande paraquedas, com dezoito metros de diâmetro, para diminuir a velocidade da espaçonave ao entrar no ar rarefeito de Marte. A atmosfera é tão pouco densa que, mesmo que a *Viking* pousasse a partir de uma altitude alta, não haveria atmosfera suficiente para frear a descida de maneira adequada: ela colidiria com o solo. Um dos requisitos, portanto, era um

local de pouso em uma região baixa. A partir de dados colhidos pela *Mariner 9* e estudos de radar em base terrestre, tínhamos conhecimento de muitas dessas áreas.

Para evitar a provável sina da *Mars 3*, queríamos que a *Viking* pousasse num lugar e num momento em que os ventos eram fracos. Ventos capazes de fazer a nave colidir talvez fossem fortes o bastante para levantar poeira da superfície. Se pudéssemos verificar que o local candidato ao pouso estava livre de poeira voando e pairando no ar, teríamos uma boa probabilidade de certeza de que os ventos não estavam insuportavelmente fortes. Esse é um dos motivos de cada veículo de solo da *Viking* ter entrado na órbita de Marte junto com seu orbitador, e de a descida ser adiada até o momento em que o orbitador sobrevoasse o local escolhido para o pouso. Tínhamos descoberto com a *Mariner 9* que ocorrem mudanças características nos padrões claros e escuros de Marte quando há ventanias muito fortes. Sem dúvida não certificaríamos um local de pouso para a *Viking* como seguro se as fotografias tiradas da órbita nos mostrassem essas mudanças de padrão. Mas nossas garantias nunca seriam de todo confiáveis. Por exemplo, poderíamos imaginar como seguro um local de pouso no qual os ventos eram tão fortes que toda a areia móvel já havia sido soprada para longe. Com isso, não teríamos indicação de que havia ventos fortes ali. Previsões de tempo detalhadas para Marte eram, é claro, muito menos confiáveis do que as da Terra. (Na verdade, um dos muitos objetivos da missão *Viking* era melhorar nosso entendimento do clima em ambos os planetas.)

Devido a restrições de comunicação e de temperatura, a *Viking* não pôde pousar em altas latitudes de Marte. Ir além de 45 ou cinquenta graus a partir do equador, em qualquer dos hemisférios, tornaria desastrosamente curto tanto o tempo útil de comunicação da nave com a Terra quanto o período no qual ela não está sujeita a temperaturas perigosamente baixas.

Não queríamos fazer o pouso num lugar acidentado. A nave poderia tombar e colidir, e seu braço mecânico, projetado para recolher amostras do solo, poderia ficar travado ou balançando, inútil, um metro acima da superfície. Da mesma forma, não queríamos pousar em locais macios demais. Se os três pés de pouso do veículo espacial penetrassem muito fundo num solo pouco compacto, várias consequências indesejadas se seguiriam, entre as quais a imobilização do braço de coleta de amostras. Mas tampouco queríamos que ele pousasse num local duro demais — se isso acontecesse num campo de lava vítrea, por exemplo, sem material poroso na superfície, o braço mecânico não teria como recolher as amostras, vitais para os projetados experimentos químicos e biológicos.

As melhores fotos de Marte então disponíveis — obtidas pelo orbitador da *Mariner 9* — mostravam formações com um diâmetro de pelo menos noventa metros. As fotos do orbitador da *Viking* só melhoraram um pouco essas imagens. Rochedos com o tamanho de um metro eram invisíveis nessas fotos e poderiam ter consequências desastrosas para o veículo de solo. Da mesma forma, um solo poroso profundo poderia ser indetectável numa fotografia. Por sorte, havia uma técnica que nos permitia determinar a dureza ou a porosidade de um candidato a local de pouso: o radar. Um local muito duro refrataria para os lados o feixe do radar vindo da Terra, e assim se refletiria muito pouco, ou seja, uma área escura no radar. Um local muito macio também teria pouca refletividade devido aos muitos interstícios entre os grãos de areia. Apesar de não podermos discernir, assim, entre locais duros demais e macios demais, não precisávamos fazer essa distinção

para efeito de escolher um local para o pouso. Esses dois tipos, sabíamos, eram perigosos. Mapeamentos preliminares com radar sugeriram que cerca de um quarto a um terço da área da superfície de Marte era escuro no radar, portanto perigoso para a *Viking*. Mas nem todo o planeta pode ser visto num radar baseado na Terra — apenas uma faixa, de 25 graus de latitude norte a 25 graus de latitude sul. O orbitador da *Viking* não levava consigo um sistema próprio de radar para mapear a superfície.

Havia muitas restrições — talvez, temíamos, demais. Os locais para pouso não poderiam ser muito elevados, ter muito vento, ser duros demais, macios demais, acidentados demais, muito próximos a um polo. Seria notável se houvesse algum local em Marte que satisfizesse ao mesmo tempo todos os nossos critérios de segurança. Mas também era claro que nossa busca de portos seguros nos tinha levado a locais de pouso que eram, em geral, desinteressantes.

Quando cada um dos dois conjuntos orbitador-veículo de solo da *Viking* foi posto em órbita marciana, estava com uma programação inalterável para pousar numa determinada *latitude* em Marte. Se o ponto mais baixo da órbita fosse em 21 graus de latitude norte de Marte, o veículo de solo iria pousar em 21 graus de latitude norte; no entanto, à espera do momento conveniente na rotação do planeta lá embaixo, poderia pousar em qualquer *longitude* que se desejasse. Assim, a equipe de cientistas da missão selecionou latitudes nas quais houvesse mais de um local promissor. A *Viking 1* foi direcionada para 21 graus de latitude norte. O lugar preferencial ficava numa região chamada Chryse (em grego, "a terra do ouro"), perto da confluência de quatro canais sinuosos que se pensava terem sido escavados por água corrente em épocas prévias da história marciana. O local em Chryse parecia satisfazer todos os critérios de segurança. Mas as observações com radar tinham sido feitas nas proximidades, não no próprio local de pouso. As observações com radar em Chryse foram feitas pela primeira vez — devido à geometria entre a Terra e Marte — apenas algumas semanas antes da data marcada para o pouso.

A latitude candidata para o pouso da *Viking 2* foi 44 graus norte; o local preferencial, um lugar chamado Cydonia, foi escolhido porque, segundo alguns argumentos teóricos, havia uma significativa probabilidade de haver lá pequenas quantidades de água em estado líquido, pelo menos em algum período do ano marciano. Como os experimentos biológicos da missão tinham forte orientação visando a organismos que se sentem confortáveis na água em estado líquido, alguns cientistas sustentaram que a probabilidade de a *Viking* encontrar vida seria bem maior em Cydonia. Por outro lado, alegou-se que, num planeta com tantos ventos como Marte, micro-organismos, se lá existirem, podem estar em qualquer lugar. Ambas as posições pareciam ter algum mérito, e era difícil decidir entre elas. Estava bem claro, no entanto, que 44 graus norte era de todo inacessível a certificações do local por meio do radar; teríamos de aceitar um significativo risco de fracasso com a *Viking 2*, se ela fosse dirigida a uma latitude norte elevada. Argumentou-se às vezes que se a *Viking 1* tivesse pousado e estivesse funcionando bem poderíamos nos permitir aceitar um risco maior com a *Viking 2*. Eu me vi fazendo recomendações muito conservadoras quanto ao destino de uma missão de 1 bilhão de dólares. Imaginava, por exemplo, uma falha crucial de instrumentos em Chryse logo após um desastre no pouso em Cydonia. Para melhorar as opções da missão, foram selecionados, na região certificada pelo radar próxima à latitude 4 graus sul, locais de pouso adicionais, muito

diferentes de Chryse e de Cydonia em termos geológicos. A decisão quanto a se a *Viking 2* deveria ser programada para latitude alta ou baixa só foi tomada quase no último minuto, quando foi escolhido um local com o esperançoso nome de Utopia, na mesma latitude de Cydonia.

Para a *Viking 1*, o local original para o pouso parecia ser, depois que examinamos as fotografias do orbitador e os dados mais recentes do radar baseado na Terra, de um risco inaceitável. Por um momento, temi que a nave estivesse condenada, como o lendário Holandês Voador, a vagar eternamente pelos céus de Marte, sem achar jamais um porto seguro. Mais tarde encontramos um local adequado, ainda em Chryse porém longe da confluência dos quatro antigos canais. O adiamento impediu-nos de descer no 4 de julho de 1976, mas foi consenso que um acidente no pouso naquela data teria sido um insatisfatório presente de aniversário para os Estados Unidos. Saímos de órbita e entramos na atmosfera marciana dezesseis dias depois.

Após uma viagem interplanetária de um ano e meio, cobrindo um longo percurso de 100 milhões de quilômetros em torno do Sol, cada uma das combinações orbitador/veículo de solo foi posta em sua órbita própria em torno de Marte; os orbitadores examinaram candidatos a locais de pouso; os veículos de solo entraram na atmosfera marciana por comando de rádio e ajustaram corretamente os escudos de ablação, abriram os paraquedas, soltaram coberturas e acionaram retrofoguetes. Em Chryse e em Utopia, pela primeira vez na história humana, espaçonaves tinham pousado, com suavidade e em segurança, no planeta vermelho. Esses pousos vitoriosos deveram-se, em parte considerável, à grande qualidade de seu projeto, fabricação e teste, bem como à capacidade dos controladores da espaçonave. Mas, tratando-se de um planeta tão perigoso e misterioso como é Marte, houve pelo menos um componente de sorte.

Logo após o pouso, deveriam vir as primeiras fotos. Sabíamos que tínhamos escolhido locais pouco interessantes. Mas estávamos esperançosos. A primeira foto tirada pelo veículo de solo da *Viking 1* foi de um de seus próprios pés — caso ele acabasse afundando na areia movediça, queríamos ter informação sobre esta antes que a espaçonave desaparecesse. A foto foi sendo formada, linha a linha, até que com enorme alívio vimos o pé apoiado firme e seco na superfície marciana. Logo se formaram mais imagens, cada elemento dela transmitido por rádio, individualmente, para a Terra.

Lembro-me de ter ficado petrificado ante a primeira imagem do veículo de solo que mostrou o horizonte de Marte. Não era um mundo alienígena, pensei. Eu conhecia lugares assim no Colorado, no Arizona e em Nevada. Havia rochas e formações de areia e uma proeminência distante, tão natural e alheia a si mesma como em qualquer paisagem na Terra. Marte era um *lugar*. Eu me surpreenderia, é claro, se visse um explorador grisalho emergir de trás de uma duna conduzindo sua mula, mas ao mesma tempo essa ideia parecia ser bem apropriada. Nada nem de longe parecido tinha passado pela minha cabeça durante todas as horas que examinei as imagens da superfície de Vênus enviadas pelas naves *Venera9* e *Venera 10*. De um jeito ou de outro, eu sabia, esse era um mundo para o qual iríamos retornar.

A paisagem é árida, vermelha e bela; blocos de rocha que se projetam para formar uma cratera em algum lugar no horizonte, pequenas dunas de areia, rochas que são intermitentemente cobertas e descobertas por areia semovente, plumas de material de textura muito fina ao sabor do vento. De

onde vieram as rochas? Quanta areia tem sido soprada pelo vento? Qual deve ser a história pregressa do planeta para que se criassem rochas recortadas, pedregulhos enterrados, entalhes poligonais no solo? De que são feitas as rochas? Dos mesmos materiais que a areia? Será que a areia é apenas rocha pulverizada ou outra coisa? Por que o céu é cor-de-rosa? De que é composto o ar? Qual é a velocidade do vento? Será que ocorrem martemotos? Como é que a pressão atmosférica e o aspecto da paisagem mudam com as estações?

Para cada uma dessas perguntas a *Viking* deu respostas definitivas ou, pelo menos, plausíveis. O Marte revelado pela missão é de enorme interesse — sobretudo quando lembramos que os locais de pouso foram escolhidos exatamente por serem atípicos. Porém as câmeras não revelaram nenhum sinal de construtores de canal, nem carros aéreos ou espadas curtas barsoomianos, nem princesas ou guerreiros, nem thoats, nem pegadas, nem mesmo um cacto ou um rato-canguru. Até onde se podia ver, não havia sinal de vida.[3]

Talvez haja grandes formas de vida em Marte, mas não em nossos dois locais de pouso. Talvez haja formas menores em cada rocha e grão de areia. Na maior parte da história, as regiões na Terra não cobertas de água se pareciam com Marte hoje — com uma atmosfera rica em dióxido de carbono, luz ultravioleta a brilhar com intensidade em sua superfície atravessando uma atmosfera desprovida de ozônio. A Terra não foi colonizada por grandes plantas e animais até os últimos 10% de sua história. E, contudo, durante 3 bilhões de anos havia micro-organismos por toda parte. Para procurar vida em Marte, devemos procurar micróbios.

O veículo de solo da *Viking* estende as capacidades humanas a outras paisagens alienígenas. Segundo certos critérios, é esperto como um gafanhoto; segundo outros, só tem a inteligência de uma bactéria. Não há nada depreciativo nessas comparações. A natureza levou centenas de milhões de anos para fazer a bactéria evoluir e bilhões para criar o gafanhoto. Com só um pouco de experiência nesse tipo de questão já estamos ficando bem habilidosos. A *Viking* tem dois olhos, como nós, mas eles também funcionam no infravermelho, ao contrário dos nossos; um braço que pode empurrar rochas, cavar e recolher amostras do solo; tem uma espécie de dedo que ela ergue para medir a velocidade e a direção do vento; uma espécie de nariz e de papilas gustativas, com os quais sente, de maneira muito mais acurada que nós, a presença de vestígios de moléculas; um ouvido interior com o qual pode detectar o rumor de martemotos e o mais suave trepidar, ao vento, da espaçonave; e um meio de detectar micróbios. A espaçonave tem sua própria e autocontida fonte de potência radioativa. Irradia para a Terra toda informação científica que adquire. Recebe instruções daqui, de modo que seres humanos possam avaliar a importância dos resultados obtidos por ela e instruí-la a fazer algo novo.

Mas qual será a melhor maneira, considerando as rigorosas restrições de tamanho, custo e fontes de energia, de procurar micróbios em Marte? Não podemos — ao menos por enquanto — enviar micróbios para lá. Tive um amigo, um microbiologista extraordinário chamado Wolf Vishniac, da Universidade de Rochester, em Nova York. No final da década de 1950, quando estávamos começando a pensar a sério em procurar vida em Marte, ele esteve presente numa reunião científica na qual um astrônomo expressou espanto com o fato de que os biólogos não tivessem um instrumento simples, confiável, automatizado, capaz de procurar por micro-organismos. Vishniac

decidiu fazer algo quanto a isso.

Ele desenvolveu um pequeno dispositivo a ser enviado para os planetas. Seus amigos o chamaram de Armadilha de Wolf. Ele iria levar a Marte um pequeno frasco de material nutriente orgânico, colher uma amostra de solo marciano para misturar com esse material e observar a mutante turbidez ou nebulosidade do líquido à medida que os micróbios marcianos (se houvesse algum) cresciam (se crescessem). A Armadilha de Wolf foi selecionada junto com três outros experimentos microbiológicos para ir a bordo dos veículos de solo da *Viking*. Dois dos outros três experimentos também optaram por enviar alimento para os marcianos. Para o sucesso da Armadilha de Wolf era preciso que os micróbios gostassem de água em estado líquido. Houve quem pensasse que Vishniac ia mesmo era afogar os pequenos marcianos. Mas a vantagem da Armadilha de Wolf era que ela não dependia de como os micróbios processavam seu alimento. Eles só tinham de crescer. Todos os outros experimentos baseavam-se em suposições específicas sobre quais gases seriam exalados ou assimilados pelos micróbios, suposições que eram pouco mais do que palpites.

A Nasa, agência que conduz o programa espacial planetário dos Estados Unidos, é objeto de frequentes e imprevisíveis cortes de orçamento. É raro que se antecipem aumentos nos recursos. As atividades científicas da Nasa têm muito pouco apoio efetivo do governo, e assim a ciência é o alvo mais frequente quando se tem de tirar dinheiro da agência. Em 1971 decidiu-se que um dos quatro experimentos microbiológicos teria de ser cancelado, e a Armadilha de Wolf foi desembarcada. Foi um desapontamento arrasador para Vishniac, que tinha investido doze anos em seu desenvolvimento.

Muitos outros, em seu lugar, teriam se afastado da equipe de biologia da missão *Viking*. Porém Vishniac era um homem gentil e dedicado. Decidiu que poderia servir melhor à busca de vida em Marte viajando para o meio ambiente terrestre mais parecido com o de Marte — os vales secos da Antártida. Alguns pesquisadores já tinham examinado o solo antártico e concluído que os poucos micróbios que conseguiram encontrar não eram na realidade nativos dos vales secos, mas haviam sido carregados para lá pelo vento, oriundos de ambientes mais amenos. Relembrando os experimentos com os potes de Marte, Vishniac acreditava que a vida era obstinada e que a Antártida era perfeitamente consistente com a microbiologia. Se micróbios terrestres fossem capazes de viver em Marte, pensou ele, por que não na Antártida — que era muito mais quente, úmida e tinha mais oxigênio e muito menos luz ultravioleta? E, no sentido inverso, pensou, achar vida nos vales secos da Antártida ia aumentar, de modo correspondente, a probabilidade de haver vida em Marte. Vishniac acreditava que as técnicas experimentais usadas antes para deduzir que não havia micróbios autóctones da Antártida eram falhas. Os nutrientes, conquanto adequados ao confortável ambiente de um laboratório de microbiologia na universidade, não eram apropriados para o árido deserto polar.

Assim, em 8 de novembro de 1973, Vishniac, seu novo equipamento microbiológico e um companheiro teólogo foram transportados num helicóptero da Estação McMurdo para uma área junto a Mount Balder, um vale seco na cadeia de Asgard. Seu objetivo era implantar as pequenas estações microbiológicas no solo da Antártida e voltar cerca de um mês depois para recolhê-las. Em 10 de dezembro de 1973, ele saiu para recolher as amostras em Mount Balder; sua partida foi

fotografada a três quilômetros de distância. Era a última vez que o viam com vida. Dezoito horas depois, descobriram seu corpo ao pé de um penhasco de gelo. Tinha entrado numa área que não fora previamente explorada, e ao que tudo indica escorregou no gelo, tropeçou e caiu aos trambolhões a uma distância de 150 metros. Talvez algo lhe tivesse chamado a atenção, um provável hábitat para micróbios, digamos, ou uma faixa de verde onde não deveria haver nenhuma. Nunca saberemos. Na caderneta que levava consigo naquele dia, no último registro se lia: "Estação 220, resgatada. 10 de dezembro de 1973. 2230 horas. Temperatura do solo: dez graus negativos. Temperatura do ar: dezesseis graus negativos". Seria uma temperatura típica do verão marciano.

Muitas das estações microbiológicas de Vishniac ainda estão na Antártida. Mas as amostras trazidas de volta foram examinadas, usando os métodos dele, por colegas de profissão e amigos. Uma grande variedade de micróbios, que seriam indetectáveis por meio de técnicas convencionais, foi encontrada em quase todo local examinado. Uma nova espécie de fungo, pelo visto única na Antártida, foi descoberta em suas amostras por sua viúva, Helen Simpson Vishniac. Grandes rochas trazidas da Antártida naquela expedição, examinadas por Imre Friedmann, revelaram uma fascinante microbiologia — um ou dois milímetros no interior da rocha, algas tinham colonizado um mundo minúsculo, no qual pequenas quantidades de água haviam sido capturadas e liquefeitas. Em Marte, um lugar assim teria sido ainda mais interessante, porque se a luz visível necessária para a fotossíntese penetrasse até essa profundidade, a luz ultravioleta germicida seria ao menos em parte atenuada.

Como os projetos de missões espaciais são finalizados muitos anos antes do lançamento, e devido à morte de Vishniac, os resultados de seus experimentos na Antártida não influenciaram o programa Viking para a busca de vida em Marte. Em geral, os experimentos microbiológicos não foram feitos na baixa temperatura do meio ambiente e a maioria não teve longos períodos de incubação. Todos eles fizeram suposições bem fortes de como deve ser o metabolismo marciano. Não havia como procurar vida dentro das rochas.

Cada veículo de solo da *Viking* era equipado com um braço recolhedor de amostras para retirar material da superfície e depois, devagar, introduzi-las no interior da espaçonave, onde as partículas eram transportadas em pequenos vagões, como num trem, para cinco experimentos diferentes: um sobre a química inorgânica do solo, outro para buscar moléculas orgânicas na areia e na poeira, e três para buscar vida microbiana. Quando procuramos vida em um planeta estamos fazendo certas suposições. Tentamos, da melhor forma possível, não presumir que a vida em outro lugar será igual à vida que existe aqui. Porém há limites para o que somos capazes de fazer. Só conhecemos em detalhes a vida que temos aqui. Conquanto os experimentos biológicos da missão *Viking* sejam iniciativas pioneiras, estão longe de representar uma busca definitiva de vida em Marte. Os resultados têm sido eletrizantes, provocantes, estimulantes e também, ao menos até há pouco, substancialmente inconclusivos.*

Cada um dos três experimentos microbiológicos fez um tipo de pergunta diferente, mas em todos os casos a pergunta era sobre o metabolismo em Marte. Se houver micro-organismos no solo marciano, eles devem absorver alimento e expelir gases residuais. Ou devem absorver gases da atmosfera e, talvez com a ajuda da luz solar, convertê-los em material nutriente. Assim, levamos

comida para Marte e esperamos que os marcianos, se existirem, a achem saborosa. Depois verificamos se algum gás novo e interessante emana do solo. Ou fornecemos nossos próprios gases com traçadores radioativos e vemos se são convertidos em matéria orgânica, e se for esse o caso, os pequenos marcianos são infravermelhos.

Pelos critérios estabelecidos antes do lançamento, dois dos três experimentos microbiológicos da *Viking* parecem ter produzido resultados positivos. Primeiro, quando o solo marciano foi misturado com uma sopa orgânica estéril da Terra, algo que havia nele fragmentou quimicamente a sopa — quase como se houvesse micróbios respirando e metabolizando um pacote de alimento terrestre. Segundo, quando gases da Terra foram introduzidos na amostra de solo marciano, os gases se combinaram quimicamente com o solo — quase como se houvesse micróbios fotossintetizadores, gerando matéria orgânica a partir de gases atmosféricos. Foram obtidos resultados positivos na microbiologia marciana em sete amostras diferentes em dois locais, separados entre si por 5 mil quilômetros.

Mas a situação é complexa e os critérios para considerar um experimento bem-sucedido podem ter sido inadequados. Foram feitos enormes esforços para montar os experimentos de microbiologia da *Viking* e para testá-los com uma variedade de micróbios. E muito pouco esforço foi feito para calibrar os experimentos com matéria inorgânica plausível no material da superfície. Marte não é a Terra. Como nos lembra o legado de Percival Lowell, podemos ser enganados. Talvez haja uma química inorgânica exótica no solo marciano capaz de por si mesma, na ausência de micróbios marcianos, oxidar gêneros alimentícios. Talvez exista no solo algum catalisador inorgânico especial, não vivo, capaz de fixar gases atmosféricos e convertê-los em moléculas orgânicas.

Experimentos recentes sugerem que esse pode ser mesmo o caso. Na grande tempestade de poeira marciana de 1971, o espectrômetro infravermelho da *Mariner 9* obteve características espectrais da poeira. Ao analisar esse espectro, O. B. Toon, J. B. Pollack e eu descobrimos que certas características pareciam corresponder mais a montmorilonita e outros tipos de argila. Observações subsequentes do veículo de solo da *Viking* confirmam a identificação de argilas carregadas pelo vento em Marte. Agora, A. Banin e J. Rishpon descobriram que são capazes de reproduzir alguns dos processos-chave — os que parecem fotossíntese e os que parecem respiração — dos “vitoriosos” experimentos microbiológicos da *Viking* se, em experimentos em laboratório, eles substituem essas argilas por solo marciano. As argilas têm uma complexa superfície ativa, para absorver e liberar gases e catalisar reações químicas. É cedo para dizer se todos os resultados da microbiologia marciana podem ser explicados pela química inorgânica, mas se isso acontecer não será mais surpresa. A hipótese da argila não exclui a possibilidade de haver vida em Marte, porém sem dúvida nos leva longe o bastante para dizer que não existe evidência convincente de uma microbiologia em Marte.

Mesmo assim, os resultados de Banin e Rishpon têm grande importância biológica porque demonstram que na ausência de vida pode haver um tipo de química no solo que atua de maneira igual à vida. Na Terra, antes da vida, poderia já ter havido no solo um ciclo de processos parecidos com os da respiração e da fotossíntese, que talvez tenham sido incorporados pela vida, quando esta

surgiu. Além disso, sabemos que as argilas de montmorilonita são potentes catalisadores para a combinação de aminoácidos em cadeias mais longas de moléculas parecidas com proteínas. As argilas da Terra primitiva podem ter sido a forja da vida, e a química no Marte contemporâneo pode prover pistas essenciais para a origem e a história inicial da vida em nosso planeta.

A superfície marciana tem muitas crateras de impacto, cada uma com o nome de uma pessoa, em geral um cientista. A cratera Vishniac fica, como é apropriado, na região antártica do planeta. Vishniac não alegou que deve haver vida em Marte, e sim, apenas, que isso é possível, e que seria de uma importância extraordinária saber se de fato há. Se existe vida em Marte, teremos a oportunidade única de testar a generalidade do nosso tipo de vida. E se não existe vida em Marte, um planeta muito parecido com a Terra, termos de entender por quê — já que, nesse caso, como acentuou Vishniac, teremos a clássica confrontação científica entre experimento e controle.

A descoberta de que os resultados da microbiologia da *Viking* podem ser explicados por argilas e não necessariamente implicam existência de vida talvez solucione outro mistério: o experimento de química orgânica da missão não apresentou nenhum vestígio de matéria orgânica no solo marciano. Se existe vida em Marte, onde estão os corpos mortos? Não se encontraram moléculas orgânicas — nem blocos de construção de proteínas e ácidos nucleicos, nem hidrocarbonetos simples, nada daquilo que indica a existência de vida na Terra. Isso não é necessariamente uma contradição, porque os experimentos de microbiologia da *Viking* são mil vezes mais sensíveis (por átomo de carbono equivalente) do que os experimentos químicos e parecem detectar matéria orgânica sintetizada no solo marciano. Mas isso não deixa muita margem. O solo terrestre é carregado de resíduos orgânicos de organismos que uma vez viveram; o solo marciano tem menos matéria orgânica do que a superfície da Lua. Se sustentarmos a hipótese da vida, devemos supor que os corpos mortos tenham sido destruídos pela reativa e oxidante, em termos químicos, superfície de Marte — como um germe numa garrafa com peróxido de hidrogênio [água oxigenada]; ou que existe vida, mas de um tipo no qual a química orgânica desempenha um papel menos central do que o que desempenha na Terra.

Porém essa última alternativa me parece ser especialmente apelativa: sou, com relutância, um confesso chauvinista do carbono. O carbono é abundante no cosmos. Ele compõe moléculas de maravilhosa complexidade, boas para a vida. Também sou um chauvinista da água. A água constitui um sistema solvente ideal para o trabalho da química orgânica e permanece líquida num amplo âmbito de temperaturas. Mas às vezes fico pensando. Será que minha afeição pelo carbono e pela água tem algo a ver com o fato de que sou feito sobretudo deles? Somos baseados em carbono e em água porque estes eram abundantes na Terra na época em que se originou a vida? Poderia a vida em outro lugar — em Marte, digamos — ser feita de outras coisas?

Sou uma coleção de água, cálcio e outras moléculas orgânicas que se chama Carl Sagan. Você é uma coleção de moléculas quase idênticas com rótulo coletivo diferente. Mas isso é tudo? Não existe aí nada além de moléculas? Há quem ache essa ideia um tanto depreciativa para a dignidade humana. Quanto a mim, acho enaltecedor o fato de o universo permitir a evolução de máquinas moleculares tão intricadas e sutis como nós.

Mas a essência da vida não consiste tanto assim nos átomos e moléculas simples que nos fazem ser

o que somos pela maneira com que são reunidos. De vez em quando lemos que as substâncias químicas que constituem o corpo humano custam 99 cents, ou dez dólares, ou algo assim; é um pouco deprimente descobrir que nosso corpo vale tão pouco. No entanto, essas estimativas valem para seres humanos reduzidos a nossos componentes mais simples. Somos feitos sobretudo de água, que não custa quase nada; o carbono é cotado na forma de carvão; o cálcio de nossos ossos, como giz; o nitrogênio em nossas proteínas, como ar (também é barato); o ferro em nosso sangue, como pregos enferrujados. Se não soubéssemos o que sabemos, poderíamos ser tentados a pegar todos os átomos que nos compõem, misturá-los num grande recipiente e mexer bem. Podemos fazer isso quanto quisermos, mas no fim só haverá uma mistura insossa de átomos. Como esperar outra coisa?

Harold Morowitz calculou quanto custaria juntar todos os componentes moleculares *corretos* que constituem o corpo humano comprando as moléculas nos fornecedores de substâncias químicas. A resposta é cerca de 10 milhões de dólares, o que deveria nos fazer sentir um pouco melhor. Mas mesmo então não poderíamos misturar todas essas substâncias químicas e ver um ser humano emergir do recipiente. Isso está muito além de nossa capacidade e é provável que esteja por um período bem longo. Por sorte, há outros métodos menos dispendiosos, mas ainda assim bastante confiáveis, de fazer seres humanos.

Penso que formas de vida em muitos mundos devem consistir, de modo geral, nos mesmos átomos que temos aqui, talvez até muitas das mesmas moléculas básicas, como proteínas e ácidos nucleicos — porém reunidos de modos que não nos são familiares. Talvez organismos que flutuam em atmosferas planetárias densas sejam muito parecidos conosco em sua composição atômica, exceto pelo fato de não terem ossos e, por isso, não precisarem muito de cálcio. Talvez em outros lugares seja usado um solvente diferente da água. Ácido fluorídrico poderia servir muito bem, embora não exista grande quantidade de flúor no cosmos; o ácido fluorídrico seria muito danoso para os tipos de molécula dos quais somos constituídos, mas outras moléculas orgânicas, ceras de parafina, por exemplo, são perfeitamente estáveis em sua presença. A amônia líquida seria um sistema solvente ainda melhor, porque a amônia é muito abundante no cosmos. Mas só é líquida em mundos muito mais frios do que a Terra e Marte. A amônia na Terra é normalmente um gás, como o é a água em Vênus. Ou talvez haja coisas vivas que não têm um solvente em geral — vida em estado sólido, com sinais elétricos que se propagam em vez de moléculas flutuando por ela.

Porém essas ideias não resgatam a noção de que os experimentos do veículo de solo da *Viking* possam indicar a existência de vida em Marte. Num mundo parecido com a Terra, com carbono e água abundante, a vida, se existisse, seria baseada na química orgânica. Os resultados obtidos da química orgânica, como os resultados de imagem e microbiológicos, são todos consistentes com a ideia de que não há vida nas partículas finas de Chryse e de Utopia no final da década de 1970. Talvez alguns milímetros abaixo das rochas (como nos vales secos da Antártida), ou em outro local do planeta, ou em alguma época anterior, mais clemente. Mas não onde e quando procuramos.

A exploração de Marte pela *Viking* é uma missão da maior importância histórica, a primeira busca séria do que possam ser outros tipos de vida, a primeira vez que a sobrevivência de uma espaçonave em pleno funcionamento durou mais de uma hora ou algo assim em qualquer outro planeta (a *Viking 1* sobreviveu durante anos), fonte de uma rica colheita de dados de geologia,

sismologia, mineralogia, meteorologia e meia dúzia de outras ciências num outro mundo. Como deveríamos continuar após esses avanços espetaculares? Alguns cientistas querem enviar um dispositivo automático que pouse, recolha amostras do solo e os envie para a Terra, onde poderão ser examinados com mais detalhes nos nossos grandes e sofisticados laboratórios do que nos limitados microminiaturizados laboratórios que somos capazes de enviar a Marte. Desse modo a maior parte das ambiguidades dos experimentos de microbiologia da *Viking* poderia ser elucidada. A química e a mineralogia do solo poderiam ser determinadas; rochas poderiam ser fragmentadas em busca de vida sob a superfície; centenas de testes em busca de química orgânica e de vida poderiam ser realizados, entre eles o exame direto ao microscópio, sob uma grande variedade de condições. Poderíamos até usar as técnicas de contagem de Vishniac. Apesar de ser bastante cara, uma missão como essa talvez esteja dentro de nossa capacidade tecnológica.

No entanto, ela traria um novo perigo: a contaminação. Se quisermos examinar na Terra amostras de solo marciano em busca de micróbios, não poderemos, é óbvio, esterilizá-las de antemão. Todo o sentido da expedição seria trazê-las vivas. Mas e depois? Será que os micro-organismos trazidos para a Terra seriam um risco para a saúde pública? Os marcianos de H. G. Wells e de Orson Welles, preocupados em riscar do mapa Bournemouth e Jersey City, nunca perceberam, a não ser quando já era tarde demais, que suas defesas imunológicas não tinham efeito contra os micróbios da Terra. O inverso seria possível? Essa é uma pergunta importante e difícil. Talvez não haja micromarcianos em Marte. Se existem, talvez possamos comer um quilo deles sem efeitos nocivos. Porém não temos certeza, e os riscos são altos. Se quisermos trazer amostras de Marte para a Terra sem esterilizá-las precisaremos ter um procedimento de contenção que seja incrivelmente confiável. Existem nações que desenvolvem e amontoam armas bacteriológicas. Parece que às vezes há acidentes, mas até agora, ao que se saiba, eles nunca produziram uma pandemia global. Talvez *se possa* trazer amostras marcianas para a Terra com segurança. Mas eu gostaria de ter muita certeza antes de considerar a possibilidade de uma missão destinada a isso.

Há outro caminho para investigar Marte e toda a gama de delícias e descobertas que esse heterogêneo planeta guarda para nós. Minha emoção mais persistente ao trabalhar com as fotos do veículo de solo da *Viking* foi de frustração com nossa imobilidade. Eu me vi, inconscientemente, querendo que a espaçonave pelo menos ficasse na ponta dos pés, como se esse laboratório, projetado para ficar imóvel, estivesse, de maneira perversa, se recusando a dar pelo menos um pulinho. Como ansiávamos por cutucar aquela duna com o braço recolhedor de amostras, procurar vida debaixo daquela rocha, verificar se na cordilheira distante havia os contrafortes de uma cratera. E não muito longe, a sudeste, eu sabia, ficavam os quatro canais sinuosos de Chryse. Apesar de todo o caráter tentador e provocante dos resultados obtidos com a *Viking*, sei de uns cem lugares em Marte que são mais interessantes do que nossos locais de pouso. A ferramenta ideal seria um *rover*, um veículo itinerante que realizasse experimentos avançados, em especial em registro de imagens, química e biologia. Protótipos desses *rovers* estão sendo desenvolvidos pela Nasa.** Eles sabem por si mesmos como subir em rochas, não cair em ravinas, livrar-se de lugares apertados. Temos a capacidade de pousar em Marte um *rover* que poderia varrer sua superfície, ter os lugares mais interessantes em seu campo de visão e, no dia seguinte, à mesma hora, estar lá. Todo dia um

novo lugar, numa travessia complexa e sinuosa pela variada topografia desse atraente planeta.

Essa missão obteria enormes benefícios científicos, mesmo que não haja vida em Marte. Poderíamos seguir ao longo de antigos vales de rios, subir as encostas de uma das maiores montanhas vulcânicas, percorrendo os estranhos e íngremes territórios de terraços de gelo polares, ou nos aproximar muito das atraentes pirâmides de Marte.[4] O interesse público numa tal missão seria considerável. Todos os dias uma nova coleção de vistas de Marte chegaria a nossas casas nas telas dos aparelhos de TV. Poderíamos traçar a rota, ponderar sobre as descobertas, sugerir novos destinos. O dia seria longo, o *rover* obedecendo aos comandos de rádio emitidos da Terra. Haveria muito tempo para incorporar novas e boas ideias ao plano de nossa missão. Um bilhão de pessoas poderiam participar na exploração de outro mundo.

A área da superfície de Marte é exatamente a mesma da área continental da Terra. Uma expedição meticulosa de reconhecimento nos ocuparia durante séculos. Mas haverá um tempo em que o planeta estará explorado por completo; depois que aeronaves robôs o tiverem mapeado do alto, depois que *rovers* tiverem rastreado sua superfície, depois de amostras terem sido trazidas com segurança para a Terra, depois de seres humanos terem caminhado pelas areias de Marte. E então, o quê? O que faremos com Marte?

Há tantos exemplos de uso equivocado da Terra pelos seres humanos que até o ato de formular essa pergunta me dá calafrios. Se houver vida em Marte, creio que não deveríamos fazer nada com ele. Nesse caso ele pertenceria aos marcianos, mesmo que estes fossem apenas micróbios. A existência de uma biologia independente num planeta próximo é um tesouro que fica além de nosso alcance, e a preservação dessa vida deve, creio, se sobrepor a qualquer outro possível uso de Marte. No entanto, suponhamos que não haja vida ali. Ele não é uma fonte plausível de matérias-primas: o transporte de Marte para a Terra seria caro demais durante muitos séculos futuros. Mas seríamos capazes de viver em Marte? Poderíamos, de alguma forma, torná-lo habitável?

Um mundo encantador, sem dúvida, porém — do nosso ponto de vista provinciano — há muita coisa errada em Marte, em especial a baixa presença de oxigênio, a ausência de água em estado líquido e o alto fluxo ultravioleta. (As temperaturas baixas não constituem um obstáculo insuperável, como demonstram as estações científicas permanentes na Antártida.) Todos esses problemas poderiam ser resolvidos se pudéssemos fabricar mais ar. Com pressões atmosféricas maiores, seria possível ter água em estado líquido. Com mais oxigênio, poderíamos respirar na atmosfera e se formaria ozônio para servir como escudo da superfície à radiação solar ultravioleta. Os canais sinuosos, as placas polares empilhadas e outras evidências sugerem que Marte já teve uma atmosfera mais densa. É pouco provável que esses gases tenham escapado de lá. Eles estão, portanto, em algum lugar do planeta. Alguns estão em combinação química com as rochas da superfície. Alguns estão no gelo do subsolo. Mas a maior parte deve estar nas atuais calotas de gelo polares.

Para vaporizar as calotas é preciso aquecê-las; talvez fosse possível pulverizá-las com um pó escuro, para que se aqueçam ao absorver mais luz solar, o contrário do que estamos fazendo à Terra quando destruímos florestas e pradarias. Mas as áreas das calotas são muito grandes. Para transportar o pó necessário da Terra até Marte seriam necessários 1200 foguetes *Saturno 5*; mesmo assim, os ventos poderiam varrer o pó das calotas polares. Método melhor seria conceber algum

material escuro capaz de fazer cópias de si mesmo, uma pequena máquina escura que levaríamos para Marte e a partir de então se autorreproduzisse a partir de material nativo para cobrir toda a área das calotas. Existe uma categoria dessas máquinas. Nós as chamamos de plantas. Algumas são muito resistentes e resilientes. Sabemos que pelo menos alguns micróbios terrestres são capazes de sobreviver em Marte. O que se precisa é de um programa de seleção artificial e engenharia genética de plantas escuras — talvez liquens — capazes de sobreviver no meio ambiente muito mais rigoroso de Marte. Se fosse possível criar essas plantas, podemos imaginá-las sendo semeadas nas vastas extensões das calotas polares geladas de Marte, criando raízes, se espalhando, escurecendo as calotas, absorvendo luz solar, aquecendo o gelo e libertando a antiga atmosfera marciana de seu longo cativeiro. Podemos até imaginar um Johnny Appleseed*** marciano, robô ou humano, a percorrer os vastos desertos polares num esforço que beneficiará apenas as futuras gerações humanas.

Essa ideia e ação, como conceito geral, é chamada de "terraformação": a transformação de uma paisagem alienígena em outra mais adequada a seres humanos. Em milhares de anos o homem conseguiu alterar a temperatura global da Terra em apenas um grau com mudanças causadas por efeito estufa e albedo, embora, no ritmo atual de queima de combustíveis fósseis e destruição de florestas e pradarias, a temperatura global possa se alterar em mais um grau em apenas um ou dois séculos. Essas e outras considerações sugerem que uma escala de tempo para transformações significativas em Marte talvez esteja na ordem de centenas de milhares de anos. Num futuro de uma tecnologia altamente avançada poderíamos almejar não só aumentar a pressão atmosférica total e com isso possibilitar a formação de água em estado líquido, mas também conduzir água do derretimento das calotas polares para as regiões equatoriais mais quentes. Existe, é claro, uma maneira de fazer isso. Construiríamos canais.

O gelo em derretimento na superfície e na subsuperfície seria transportado por uma grande rede de canais. Mas foi isso exatamente o que Percival Lowell, nem um século atrás, sugeriu, de maneira equivocada, que estivesse de fato acontecendo em Marte. Lowell e Wallace entenderam, ambos, que a comparativa inospitalidade de Marte se devia à escassez de água. Se ao menos existisse uma rede de canais, essa carência seria remediada e a habitabilidade do planeta se tornaria plausível. As observações de Lowell foram feitas em condições de visibilidade dificílimas. Outros, como Schiaparelli, já tinham observado algo parecido com canais; eles foram chamados de *canali* antes de Lowell começar seu caso de amor de uma vida inteira com Marte. Seres humanos têm demonstrado seu talento para o autoengano quando suas emoções são instigadas, e poucas noções as instigam mais do que a ideia de um planeta vizinho habitado por seres inteligentes.

É bem possível que o potencial contido na ideia de Lowell faça com que ela seja considerada uma espécie de premonição. Sua rede de canais foi construída por marcianos. Até isso pode ter sido uma acurada profecia. Se alguma vez o planeta passar por terraformação, ela será realizada por seres humanos cuja residência permanente e afiliação planetária será Marte. Os marcianos seremos nós.

---

* Até o período atual, ocorreram diversas missões a Marte. A atual estratégia de busca por vida adotada pela Nasa divide-se nas fases de busca por água (dado nosso entendimento de que este seja o mais provável solvente para a vida), explorando a habitabilidade, procura

por sinais de vida e, nas próximas décadas, a colonização humana do nosso planeta vizinho. (N. R. T.)
** Desde a publicação da primeira edição deste livro, dezenas de missões a Marte foram executadas, tendo um considerável número delas falhado, dada a complexidade do objetivo. Dessas, cinco foram *rovers* que exploraram o solo marciano. A próxima *rover* a ser enviada pela Nasa é *Mars* 2020 Rover, com previsão de lançamento em 2020. (N. R. T.)
*** Pioneiro americano que se tornou lendário por percorrer áreas do Meio-Oeste plantando macieiras. (N. T.)

6. Histórias de viajantes

Será que existem muitos mundos, ou apenas um único mundo? Essa é uma das mais nobres e exaltadas perguntas no estudo da Natureza.

Alberto Magno, século XIII

Podemos ascender desta enfadonha Terra e, olhando-a de cima, ponderar se a Natureza aplicou todo o seu recurso e refinamento nesse pontinho de Sujeira. Assim, como viajantes em outros e distantes países, estaremos mais capazes de julgar o que foi feito em casa, saber como fazer uma verdadeira avaliação dela e atribuir o verdadeiro valor de cada coisa. Estaremos menos aptos para admirar o que este Mundo chama de grande, desprezando com nobreza essas Insignificâncias nas quais os Homens costumam depositar suas afeições, quando soubermos que há uma multidão de Terras assim, habitadas e ornadas como a nossa.

Christiaan Huygens, *Os mundos celestiais descobertos*, *c.* 1690

Esta é a época na qual humanos começaram a navegar pelo mar do espaço. As naves modernas que percorrem as trajetórias keplerianas para os planetas não são tripuladas. São lindamente construídas, robôs semi-inteligentes que exploram mundos desconhecidos. Viagens para o sistema solar exterior controladas de um único lugar no planeta Terra, o Laboratório de Propulsão a Jato da Nasa, em Pasadena, Califórnia.

Em 9 de julho de 1979, uma espaçonave chamada *Voyager 2* chegou ao sistema Júpiter. Tinha viajado durante quase dois anos pelo espaço interplanetário. Ela é feita de milhões de partes separadas, juntadas de maneira a haver redundância, de modo que, se algum componente falhar, outros assumirão suas responsabilidades. Pesa 0,9 tonelada e preencheria uma grande sala de estar. Sua missão a leva para tão longe do Sol que não pode ser carregada de energia solar, como são outras espaçonaves. Em vez disso, a *Voyager* se vale de pequenas fontes de energia nuclear, extraindo centenas de watts da desintegração radioativa de uma pelota de plutônio. Seus três computadores integrados e a maior parte de suas funções de automanutenção — por exemplo, o sistema de controle de temperatura — estão localizados no centro. Ela recebe comandos da Terra e irradia de volta suas descobertas por uma grande antena com 3,7 metros de diâmetro. A maior parte de seus instrumentos científicos fica numa plataforma de varredura que rastreia Júpiter ou uma de suas luas quando a espaçonave passa por um ou por outra. Há muitos instrumentos científicos — espectrômetros ultravioleta e infravermelho, dispositivos para medir partículas carregadas, campos magnéticos e as emissões de rádio de Júpiter —, mas os mais produtivos têm sido as duas câmeras de TV, projetadas para gravar dezenas de milhares de imagens das ilhas planetárias no sistema solar exterior.

Júpiter é cercado de uma casca formada por partículas invisíveis, porém extremamente perigosas, carregadas de alta energia. A espaçonave devia atravessar a beirada exterior desse cinturão de

radiação para examinar de perto o planeta e suas luas, e depois prosseguir em sua missão até Saturno e além dele. Mas as partículas carregadas podem danificar os delicados instrumentos e fritar os equipamentos eletrônicos. Júpiter também é cercado por um anel de detritos sólidos, descobertos quatro meses antes pela *Voyager 1*, que a *Voyager 2* teria de atravessar. Uma colisão com um pequeno fragmento poderia fazer a espaçonave ser deslocada com violência e sair do controle, deixar sua antena incapacitada de sintonizar a Terra, seus dados perdidos para sempre. Logo antes de sua chegada lá, os controladores da missão estavam inquietos. Houve alguns alarmes e situações de emergência, mas a atuação combinada dos humanos na Terra e do robô no espaço contornou o desastre.

Lançada em 20 de agosto de 1977, ela percorreu uma trajetória em arco, passando pela órbita de Marte, atravessou o cinturão de asteroides, para se aproximar do sistema de Júpiter e seguir seu caminho passando pelo planeta e entre suas catorze — ou algo assim — luas.* A passagem da *Voyager* por Júpiter acelerou seu trajeto para um contato imediato com Saturno. A gravidade deste a impulsionará para Urano. Depois de Urano, ela mergulhará além de Netuno, deixando o sistema solar para tornar-se uma espaçonave interestelar, fadada a vagar para sempre no grande oceano entre as estrelas.

Essas viagens de exploração e descoberta são as últimas numa longa série que tem caracterizado e distinguido a história humana. Nos séculos XV e XVI podia-se viajar da Espanha aos Açores em alguns dias, o mesmo tempo que se leva agora para cruzar o canal de espaço entre a Terra e a Lua. Eram então necessários alguns meses para atravessar o oceano Atlântico e chegar ao que era chamado de Novo Mundo, as Américas. Hoje demora-se alguns meses para atravessar o oceano do sistema solar interior e chegar a Marte ou a Vênus, que são verdadeira e literalmente novos mundos esperando por nós. Nos séculos XVII e XVIII se poderia viajar da Holanda à China em um ano ou dois, tempo em que a *Voyager* viajou da Terra a Júpiter.[1] Os custos anuais foram, em termos relativos, maiores naquela época do que agora, porém, em ambos os casos, menos de 1% do Produto Nacional Bruto. Nossas atuais espaçonaves, com suas tripulações robóticas, são os precursores, a vanguarda das futuras expedições humanas aos planetas. Já viajamos dessa maneira antes.

O período do século XV ao XVII representa um grande ponto de inflexão em nossa história. Ficou claro então que podíamos nos aventurar em todas as partes do nosso planeta. Destemidas embarcações a vela de meia dúzia de nações europeias se dispersaram por todos os oceanos. Havia muitas motivações para essas jornadas: ambição, ganância, orgulho nacional, fanatismo religioso, indultos de prisão, curiosidade científica, sede de aventuras e indisponibilidade de empregos adequados na Estremadura. Essas viagens resultaram em muita coisa ruim, assim como em muita coisa boa. Mas o resultado líquido foi o de uma união maior da Terra, a diminuição do provincianismo, para unificar a espécie humana e avançar poderosamente no conhecimento de nosso planeta e de nós mesmos.

Símbolo da época da exploração com naus a vela e das descobertas foi a revolucionária República Holandesa do século XVII. Tendo declarado havia pouco sua independência do poderoso Império Espanhol, ela abraçou, mais completamente do que qualquer outra nação dessa época, o

Iluminismo europeu. Era uma sociedade racional, ordenada, criativa. Mas como os portos e navios espanhóis foram vedados à navegação holandesa, a sobrevivência da minúscula república dependia de sua capacidade para construir, tripular e acionar uma grande frota de navios comerciais.

A Companhia das Índias Orientais, um empreendimento conjunto de governo e iniciativa privada, enviou navios para os cantos mais afastados do mundo para adquirir mercadorias raras e revendê-las com lucro na Europa. Essas viagens constituíam o sangue vital da república. Cartas de navegação e mapas eram classificados como segredo de Estado. Os navios com frequência zarpavam com instruções secretas e seladas. De uma hora para outra, os holandeses estavam presentes em todo o planeta. O mar de Barents, no oceano Ártico, e a Tasmânia, na Austrália, devem seus nomes a capitães do mar holandeses. Essas não foram simples explorações comerciais, embora tivessem muito desse caráter. Foram elementos poderosos de aventura científica e do gosto pela descoberta de novas terras, novas plantas e animais, novos povos, a busca do conhecimento por si mesmo.

O prédio da prefeitura de Amsterdam reflete essa autoimagem confiante e secular da Holanda do século XVII. Para sua construção foram trazidos navios carregados de mármore. Constantijn Huygens, poeta e diplomata da época, assinalou que o edifício demonstrava a "estreiteza de visão e a esqualidez do gótico".** No prédio, até hoje, há uma estátua de Atlas sustentando os céus, ornados de constelações. Embaixo está a Justiça, ostentando uma espada dourada e uma balança, de pé entre a Morte e a Punição, e pisando na Avareza e na Inveja, deusas dos mercadores. Os holandeses, cuja economia se baseava no lucro privado, compreendiam, assim mesmo, que a busca desenfreada ao lucro representava uma ameaça à alma da nação.

Um símbolo menos alegórico encontra-se debaixo de Atlas e da Justiça, no piso do prédio. É um grande mapa nele incrustado, do final do século XVII ou início do XVIII, que se estende do Oeste da África ao oceano Pacífico. A arena da Holanda era o mundo inteiro. E nesse mapa, com uma modéstia que desarma qualquer crítica, os holandeses omitiram a si mesmos, usando apenas o antigo nome latino Belgium para designar sua região na Europa.

Em um ano típico, muitos navios percorriam metade do mundo. Descendo pela costa oeste da África, contornando o litoral sul, passando pelo estreito de Madagascar e atravessando o que chamavam de mar da Etiópia, e depois a ponta meridional da Índia, eles navegavam em direção ao maior foco de seu interesse, as ilhas das Especiarias, atual Indonésia. Algumas expedições seguiram dali para uma terra com o nome de Nova Holanda, hoje chamada Austrália. Poucos se aventuravam pelos estreitos de Malaca, passando pelas Filipinas rumo à China. Sabemos, de um relato de meados do século XVII, de uma "embaixada da Companhia das Índias Orientais das Províncias Unidas dos Países Baixos junto ao Grande Tártaro, Cham, imperador da China". Os cidadãos, embaixadores e capitães do mar holandeses ficavam de olhos arregalados de espanto ao deparar com outra civilização na Cidade Imperial de Pequim.[2]

Nunca antes nem depois, a Holanda foi a potência mundial que era então. País pequeno, obrigado a recorrer a sua sagacidade e inventividade, praticava uma política exterior de forte cunho pacifista. Devido a sua tolerância para com opiniões heterodoxas, era um porto seguro para intelectuais que se refugiavam da censura e do controle de opinião que havia em outras partes da Europa — situação parecida com a dos Estados Unidos, que, na década de 1930, se beneficiaram

muitíssimo do êxodo de intelectuais que deixavam a Europa dominada pelos nazistas. Assim, a Holanda do século XVII tornou-se o lar do grande filósofo judeu Espinoza, que Einstein admirava; de Descartes, figura axial da história da matemática e da filosofia; e de John Locke, cientista político que influenciou um grupo de revolucionários de inclinação filosófica cujos nomes eram Paine, Hamilton, Adams, Franklin e Jefferson. Nunca antes, ou depois, a Holanda foi agraciada com tal galáxia de artistas e cientistas, filósofos e matemáticos. Foi a época dos mestres da pintura Rembrandt e Vermeer, e Frans Hals; de Leeuwenhoek, inventor do microscópio; de Grotius, fundador do direito internacional; de Willebrord Snell, que descobriu a lei da refração da luz.

Seguindo a tradição holandesa de incentivar a liberdade de pensamento, a Universidade de Leiden ofereceu uma cátedra a um cientista italiano chamado Galileu, que fora obrigado pela Igreja católica, sob ameaça de tortura, a abjurar sua visão herética de que a Terra girava em torno do Sol, e não o contrário.[3] Galileu tinha laços estreitos com a Holanda, e seu primeiro telescópio astronômico foi um desenvolvimento de um instrumento óptico de design holandês. Com ele, descobriu manchas solares, as fases de Vênus, as crateras da Lua e as quatro grandes luas de Júpiter, que hoje levam seu nome, satélites de Galileu. As descrições, pelo próprio Galileu, de suas labutas eclesiásticas estão contidas numa carta que ele escreveu em 1615 para a grã-duquesa Cristina:

> Há alguns anos, como vossa alteza sereníssima bem sabe, descobri nos céus muitas coisas que não tinham sido vistas antes de nossa própria época. A novidade dessas coisas bem como algumas consequências que se seguiram a elas, contradizendo as noções de física em geral sustentadas entre filósofos acadêmicos, atiçaram contra mim um número não pequeno de professores [muitos dos quais eclesiásticos] — como se eu tivesse colocado essas coisas no céu com minhas próprias mãos para contrariar a Natureza e derrubar as ciências. Parece que eles esqueceram que o incremento no conhecimento das verdades estimula a investigação, o estabelecimento e o crescimento das artes.[4]

A conexão entre a Holanda como potência exploradora e a Holanda como centro intelectual e cultural era muito forte. O aperfeiçoamento dos navios a vela incentivou tecnologias de todos os tipos. Pessoas gostavam de trabalhar usando as mãos. Invenções eram premiadas. O avanço tecnológico exigia a busca mais livre possível do conhecimento, de modo que a Holanda se tornou a principal publicadora e vendedora de livros na Europa, traduzindo obras escritas em outras línguas e permitindo a publicação de obras proscritas em outros lugares. Aventuras em países exóticos e encontros com sociedades estranhas fizeram estremecer complacências, desafiaram pensadores a reconsiderar a sabedoria prevalente e mostraram que ideias que já eram aceitas havia milhares de anos — por exemplo, na geografia — estavam erradas. Numa época na qual reis e imperadores governavam grande parte do mundo, a República Holandesa era governada, mais do que qualquer outra nação, pelo povo. A abertura da sociedade e seu estímulo à vida mental, seu bem-estar material e seu comprometimento com a exploração e utilização de novos mundos criaram uma jubilosa confiança no empreendimento humano.[5]

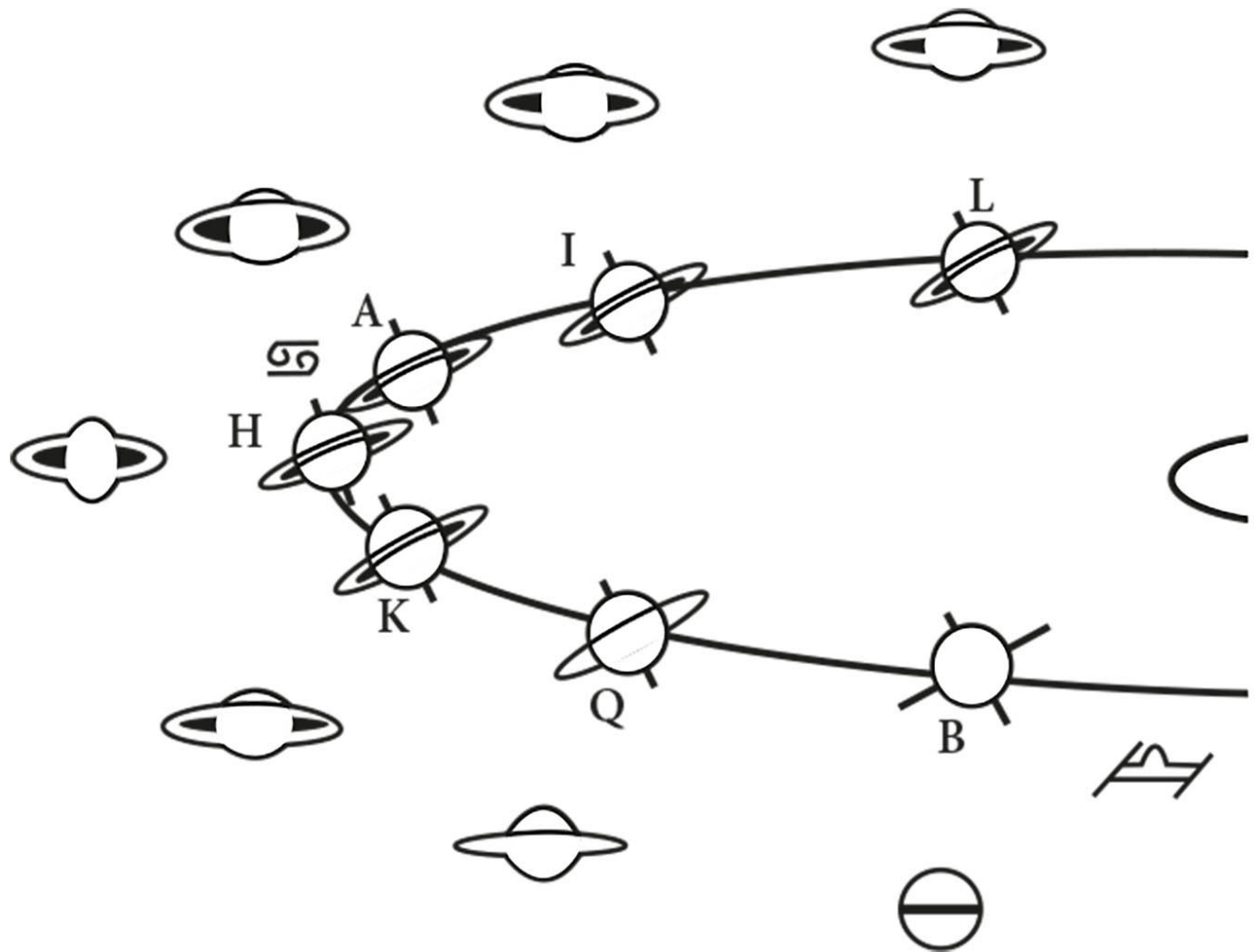
Na Itália, Galileu tinha anunciado outros mundos e Giordano Bruno, especulado sobre outras formas de vida. Por isso foram submetidos a brutal sofrimento. Porém na Holanda o astrônomo Christiaan Huygens, que acreditava nos dois, foi coberto de honrarias. Seu pai era Constantijn Huygens, grande diplomata da época, literato, poeta, compositor, músico, amigo íntimo e tradutor do poeta inglês John Donne, e chefe de uma grande e arquetípica família. Constantijn admirava o

pintor Rubens; "descobriu" um jovem artista chamado Rembrandt van Rijn e depois apareceu em vários de seus quadros. Após seu primeiro encontro, Descartes escreve sobre ele: "Não consegui acreditar que uma única mente pudesse se ocupar com tantas coisas e se equipar tão bem de todas elas". A casa de Huygens era cheia de mercadorias de todas as partes do mundo. Pensadores eminentes de outras nações eram hóspedes frequentes. Tendo crescido nesse ambiente, o jovem Christiaan Huygens tornou-se adepto, ao mesmo tempo, de línguas, desenho, direito, ciência, engenharia, matemática e música. Seus interesses e lealdades eram amplos. "O mundo é meu país", disse ele, "a ciência, minha religião."

A luz era um tema predominante naquele tempo: a simbólica iluminação da liberdade de pensamento e de religião, da descoberta geográfica; a luz que permeava as pinturas da época, em especial a primorosa obra de Vermeer; e a luz como objeto de investigação científica, como no estudo de Snell sobre refração, a invenção do microscópio por Leeuwenhoek e, do próprio Huygens, a teoria do movimento ondulatório da luz.[6] Todas essas atividades eram conectadas e seus praticantes combinavam-se livremente. Os interiores de Vermeer estão caracteristicamente cheios de artefatos náuticos e mapas de parede. Microscópios eram curiosidades de sala de estar. Leeuwenhoek foi o testamenteiro do espólio de Vermeer e era visita frequente na casa de Huygens, em Hofwijck.

O microscópio de Leeuwenhoek evoluiu a partir das lupas usadas por comerciantes de tecidos para examinar a qualidade da mercadoria. Com ele, Leeuwenhoek descobriu um universo numa gota d'água: os micróbios, que descreveu como "animalículos" e achou "bonitinhos". Huygens contribuiu para o projeto dos primeiros microscópios, com os quais ele mesmo fez muitas descobertas. Leeuwenhoek e Huygens estiveram entre as primeiras pessoas que viram as células do esperma humano, pré-requisito para compreender o processo da reprodução. Para explicar como micro-organismos se desenvolvem devagar em água previamente esterilizada, Huygens sugeriu que eram pequenos o bastante para flutuar pelo ar e se reproduzir ao pousar na água. Ele assim criou uma alternativa para a geração espontânea — a noção de que a vida pode surgir, na fermentação de suco de uva ou carne em decomposição, totalmente independente de uma vida preexistente. Foi só no tempo de Louis Pasteur, dois séculos depois, que a especulação de Huygens demonstrou ser correta. A busca de vida em Marte pela *Viking* pode ser rastreada de mais maneiras do que a utilizada por Leeuwenhoek e Huygens. Eles são também os avós da teoria dos germes e, portanto, de grande parte da medicina moderna. Mas não tinham objetivos práticos em mente. Estavam apenas remexendo numa sociedade tecnológica.

O microscópio e o telescópio, ambos desenvolvidos na Holanda no início do século XVII, representam uma extensão da visão humana para os reinos do muito pequeno ou do muito grande. Nossas observações dos átomos e das galáxias foram inauguradas naquele momento e naquele lugar. Christiaan Huygens gostava de fazer e polir lentes para telescópicos astronômicos e construiu um com cinco metros de comprimento. Suas descobertas com esse telescópio por si mesmas lhe garantiriam um lugar na história das realizações humanas. Nas pegadas de Eratóstenes, ele foi a primeira pessoa a medir o tamanho de outro planeta. Foi também o primeiro a especular que Vênus é todo coberto de nuvens; o primeiro a observar uma formação da superfície de Marte (uma vasta

encosta fustigada pelo vento chamada Syrtis Major); e ao observar o aparecimento e desaparecimento dessas formações à medida que o planeta gira, o primeiro a determinar que o dia marciano, como o nosso, tinha a duração de mais ou menos 24 horas. Foi o primeiro a reconhecer que Saturno era cercado por um sistema de anéis que nunca tocava no planeta.[7] E foi o descobridor de Titã, a maior lua de Saturno e, como hoje sabemos, a maior lua no sistema solar*** — um mundo de extraordinário interesse e promessa. Fez a maior parte dessas descobertas com vinte e tantos anos de idade. Também achava a astrologia uma bobagem.

Detalhe de Systema Saturnium, *de Christiaan Huygens, publicado em 1659. Mostra sua explicação (correta) da mudança no aspecto dos anéis de Saturno no decorrer dos anos à medida que muda a geometria relativa entre a Terra e esse planeta. Na posição B, os anéis, proporcionalmente finos como papel, desaparecem quando só apresentam à vista sua beirada. Na posição A, eles apresentam sua máxima extensão visível da Terra, configuração que causou a Galileu, cujo telescópio era muitíssimo inferior, considerável consternação.*

Huygens fez muito mais do que isso. Um problema-chave para a navegação marítima na época era a determinação da longitude. A latitude podia ser determinada com facilidade pelas estrelas — quanto mais ao sul se estivesse, mais constelações do hemisfério sul eram visíveis. Mas a longitude exigia uma medição precisa do tempo. Um relógio de boa precisão a bordo indicaria a hora no

porto de origem; o nascer e o pôr do sol e das estrelas especificariam a hora local; e a diferença entre as duas forneceria a longitude. Huygens inventou o relógio de pêndulo (seu princípio tinha sido descoberto antes disso por Galileu), que foi então empregado, não com absoluto sucesso, para calcular posições no meio do grande oceano. Seus esforços resultaram numa precisão sem precedentes em relógios astronômicos e outros relógios náuticos. Ele inventou o balancim com mola em espiral, ainda usado hoje em dia em alguns relógios; fez contribuições fundamentais à mecânica — por exemplo, o cálculo da força centrífuga —, e, de um estudo do jogo de dados, à teoria das probabilidades. Aperfeiçoou a bomba de ar, que mais tarde revolucionaria a indústria da mineração, e a "lanterna mágica", ancestral do projetor de slides. Inventou também uma coisa chamada "motor a pólvora", que influenciou o desenvolvimento de outra máquina, o motor a vapor.

Huygens ficou encantado com o fato de a visão copernicana da Terra como um planeta que se move em torno do Sol ter tido aceitação ampla até entre as pessoas comuns na Holanda. De fato, disse ele, Copérnico foi reconhecido por todos os astrônomos, exceto aqueles que "eram um pouco ignorantes ou tinham superstições impostas por mera autoridade humana". Na Idade Média, filósofos cristãos empenhavam-se em contestar isso, já que, como os céus dão uma volta em torno da Terra todo dia, nem de longe podiam ter extensão infinita; e portanto era impossível haver um número infinito de mundos, ou mesmo um grande número deles (ou até mais de um). A descoberta de que é a Terra que gira e não o céu teve importantes implicações para o conceito da singularidade terrestre e da possibilidade de haver vida em outro lugar. Copérnico afirmara que não apenas o sistema solar, mas todo o universo, era heliocêntrico, e Kepler negara que as estrelas tivessem sistemas planetários. A primeira pessoa que tornou explícita a ideia de um grande — na verdade, infinito — número de outros mundos em órbita em torno de outros sóis parece ter sido Giordano Bruno. Mas outros pensavam que a noção de pluralidade dos mundos era decorrência direta das ideias de Copérnico e Kepler e isso os deixava horrorizados. No início do século XVII, Robert Merton contestou que a hipótese heliocêntrica implicasse a existência de uma multidão de outros sistemas planetários, sendo esse um argumento do tipo chamado *reductio ad absurdum* (apêndice 1), demonstrando o erro da suposição inicial. Ele escreveu, numa argumentação que pode ter parecido uma vez devastadora:

> Pois se o firmamento for de tão incomparável tamanho, como esses gigantes de Copérnico implicam [...] tão vasto e cheio de incontáveis estrelas, sendo de extensão infinita [...] por que não poderíamos supor [...] que essas estrelas infinitas visíveis no firmamento sejam tantos quantos sóis, com centros especificamente fixos; que tenham, da mesma forma, planetas a eles subordinados, assim como o Sol os tem dançando em torno dele? [...] E assim, por conseguinte, que haja infinitos mundos habitáveis; o que o impede? [...] a essas e como tais outras tentativas insolentes e atrevidas, paradoxos prodigiosos, outras inferências devem se seguir, se se tomar como assegurado o que [...] Kepler [...] e outros mantêm sobre o movimento da Terra.

Porém a Terra, sim, se move. Merton, se vivesse hoje, seria obrigado a deduzir a existência de "infinitos mundos habitáveis". Huygens não se esquivou a essa conclusão; ele a abraçou com alegria: no outro lado do mar do espaço as estrelas são outros sóis. Por analogia com nosso sistema solar, Huygens inferiu que algumas estrelas deviam ter seus próprios sistemas planetários e que muitos desses planetas poderiam ser habitados.

> Se não admitirmos que esses planetas sejam mais que vastos desertos [...] se os despojarmos de todas essas criaturas que com mais clareza sinalizam seu arquiteto divino, nós os estaríamos relegando a algo inferior à Terra em beleza e em dignidade, algo muito desarrazoado.[8]

Essas ideias foram apresentadas num livro extraordinário com o triunfante título *Os mundos celestiais descobertos: Conjecturas a respeito de habitantes, plantas e produções dos mundos nos planetas*. Composta pouco antes de Huygens morrer, em 1690, a obra foi admirada por muitos, inclusive o tsar Pedro, o Grande, que fez dela o primeiro produto da ciência ocidental a ser publicado na Rússia. O livro versa em grande parte sobre a natureza ou os meios ambientes dos planetas. Entre as figuras caprichadas da primeira edição existe uma na qual se vê, em escala, o Sol e os planetas gigantes Júpiter e Saturno. São, em termos comparativos, bem pequenos. Também há um desenho de Saturno ao lado da Terra: nosso planeta é um círculo diminuto.

De modo geral, Huygens achava que o meio ambiente e os habitantes de outros planetas eram como os da Terra no século XVII. Ele imaginou "planetarianos" cujos "corpos como um todo e cada parte deles eram distintos e diferentes dos nossos [...] é uma opinião muito ridícula [...] a de que é impossível que uma alma racional possa habitar um corpo com outra forma que não a dos nossos corpos". Você pode ser inteligente, dizia, mesmo se seu aspecto for peculiar. Mas continuava argumentando que o aspecto deles não seria *muito* peculiar — que deviam ter mãos e pés e andar eretos, deviam ter escrita e geometria, e que Júpiter tinha seus quatro satélites galileanos para prover ajuda navegacional aos marinheiros nos oceanos jovianos. Huygens foi, é claro, um cidadão de sua época. Quem de nós não o é? Ele afirmava que a ciência era sua religião e depois alegava que os planetas deviam ser habitados porque, do contrário, Deus teria feito os planetas para nada. Como viveu antes de Darwin, suas especulações sobre vida extraterrestre carecem de uma perspectiva evolucionária. Mas foi capaz de desenvolver, com base em observações, algo parecido com a perspectiva cósmica moderna:

> Que esquema maravilhoso e espantoso temos aqui da magnífica vastidão do universo [...]. Tantos sóis, tantas terras [...] e cada uma delas estocada de tantas plantas, árvores e animais, adornada de tantos mares e montanhas! [...] E como têm de aumentar nosso assombro e nossa admiração quando consideramos a distância prodigiosa e a multiplicidade das estrelas.

As espaçonaves *Voyager* são descendentes lineares daquelas viagens de exploração dos veleiros, e da tradição científica e especulativa de Christiaan Huygens. As *Voyagers* são caravelas direcionadas às estrelas, explorando no caminho esses mundos que Huygens conhecia e tanto amava.

Uma das principais mercadorias trazidas dessas viagens de séculos atrás foram histórias de viajantes,[9] histórias sobre países alienígenas e criaturas exóticas que espicaçaram nossa percepção de maravilhas e estimularam explorações futuras. Havia relatos de montanhas que chegavam até o céu; de dragões e monstros marinhos; de talheres de uso diário feitos de ouro; de um animal que tinha um braço como nariz; de pessoas que achavam os litígios doutrinários entre protestantes, católicos, judeus e muçulmanos uma bobagem; de uma pedra negra que ardia; de humanos sem cabeça com bocas no peito; de carneiros que cresciam em árvores. Algumas dessas histórias eram verdadeiras, algumas eram mentiras. Outras tinham um fundo de verdade, mal compreendido ou exagerado pelos exploradores ou seus informantes. Pelas mãos de Voltaire, digamos, ou de

Jonathan Swift, esses relatos estimularam uma nova perspectiva na sociedade europeia, impondo uma reconsideração daquele mundo insular.

As modernas *Voyagers* também trazem histórias, histórias de um mundo estilhaçado como uma esfera de cristal; um globo onde o solo é coberto, de polo a polo, com o que parece ser uma rede de teias de aranha; luas minúsculas com formato de batatas; um mundo com um oceano subterrâneo; uma terra que cheira a ovo podre e tem o aspecto de uma pizza, com lagos de enxofre derretido e erupções vulcânicas que expelem fumaça direto no espaço; um planeta chamado Júpiter que faz o nosso parecer um anão — tão grande que mil Terras caberiam nele.

Os satélites galileanos de Júpiter são, cada um deles, tão grandes quanto o planeta Mercúrio. Podemos medir seus tamanhos e massas e assim calcular suas densidades, que nos dirão alguma coisa sobre a composição de seu interior. Descobrimos que os dois mais internos, Io e Europa, têm densidade alta como a de uma rocha. Os outros dois, Ganimedes e Calisto, têm densidade muito mais baixa, a meio caminho entre a da rocha e a do gelo. Porém a mistura de gelo e rocha nessas luas externas deve conter, assim como as rochas na Terra, traços de minerais radioativos, que aquecem suas cercanias. Não existe um meio efetivo que faça esse calor, acumulado em bilhões de anos, alcançar a superfície e se perder no espaço, e a radioatividade dentro de Ganimedes e de Calisto tem, portanto, de derreter seu interior gelado. Podem-se prever oceanos subterrâneos de neve semiderretida e água nessas luas, um palpite, antes mesmo de termos avistado mais de perto as superfícies desses satélites galileanos, de que podem ser muito diferentes um do outro. Quando olhamos mais de perto, pelos olhos da *Voyager*, essa previsão se confirma. Eles não se parecem entre si. São diferentes de quaisquer mundos que já tenhamos visto.

A espaçonave *Voyager 2* nunca retornará à Terra. Mas seus achados científicos, suas descobertas épicas, suas histórias de viajante, retornarão. Tome-se, por exemplo, o dia 9 de julho de 1979. Às 8h04 daquela manhã, horário-padrão do Pacífico, as primeiras imagens de um mundo novo, chamado Europa em homenagem a um antigo, foram recebidas na Terra.

Como uma imagem do sistema solar exterior chega até nós? A luz solar brilha em Europa, em sua órbita em torno de Júpiter, e se reflete de volta para o espaço, onde parte dela atinge os fósforos das câmeras de TV da *Voyager*, gerando uma imagem. A imagem é lida pelos computadores da nave, irradiadas através da imensa distância de meio bilhão de quilômetros até um radiotelescópio, uma estação baseada na Terra. Existe um na Espanha, um no deserto de Mojave, no sul da Califórnia, e um na Austrália. (Naquela manhã de julho de 1979 era o da Austrália que estava apontado para Júpiter e Europa.) Ele passa então a informação via satélite de comunicações em órbita da Terra para o sul da Califórnia, onde ela é transmitida por um conjunto de torres de retransmissão para um computador no Laboratório de Propulsão a Jato, onde é processada. Essa imagem é como a de uma telefoto de jornal, composta talvez por 1 milhão de pontos individuais, cada um com um tom diferente de cinza, tão pequenos e juntos um do outro que à distância não são visíveis como pontos separados. Vemos apenas seu efeito cumulativo. A informação da espaçonave especifica quão claro ou escuro deve ser cada um desses pontos. Depois do processamento, os pontos são gravados num disco magnético, parecido com um disco fonográfico. Algo como 18 mil fotografias do sistema de Júpiter tiradas pela *Voyager 1* estão armazenadas nesses discos magnéticos, e um número

equivalente da *Voyager 2*. Por fim, o produto desse notável conjunto de conexões e transmissões é um pequeno pedaço de papel brilhante, nesse caso mostrando as maravilhas de Europa, registradas, processadas e examinadas pela primeira vez na história humana em 9 de julho de 1979.

O que vemos nessas fotos é espantoso. A *Voyager 1* obteve imagens excelentes dos outros três satélites galileanos de Júpiter. Mas não de Europa. Foi deixada à *Voyager 2* a obtenção de suas primeiras imagens em close-up, nas quais vemos coisas que só têm uns poucos quilômetros de diâmetro. À primeira vista, o lugar se parece com nada mais do que a rede de canais que Percival Lowell imaginou haver em Marte, e isso, sabemos da exploração feita por veículo espacial, não existe de todo. Em Europa vemos uma assombrosa e intricada rede de linhas retas e curvas que se intersectam. Serão cordilheiras — isto é, elevações? Serão calhas — isto é, depressões? De que são feitas? Serão parte de um sistema tectônico global, produzidas talvez por fraturas de um planeta que se expande ou contrai? Será que têm relação com as placas tectônicas da Terra? Que luz projetam quanto ao que existe em outros satélites do sistema joviano? No momento da descoberta, a alardeada tecnologia tinha produzido algo espantoso. Mas cabia a outro dispositivo, o cérebro humano, interpretar o que era isso. Europa se revelou tão liso quanto uma bola de bilhar, apesar da rede de linhas. A ausência de crateras de impacto pode se dever ao aquecimento e ao fluir da superfície de gelo após o impacto. As linhas são sulcos, ou rachaduras, sendo sua origem ainda debatida muito tempo depois da missão.

Se as missões da *Voyager 1* e da *Voyager 2* fossem tripuladas, o capitão manteria um diário de bordo, e os diários, registrando a combinação dos eventos de ambas as espaçonaves, deveriam conter algo assim:

Dia 1 Depois de muita preocupação com provisões e instrumentos, que pareciam estar funcionando mal, subimos de cabo Canaveral para nossa longa jornada aos planetas e às estrelas.

Dia 2 Problema no posicionamento da lança que suporta a plataforma de varredura científica. Se o problema não for resolvido, perderemos a maior parte de nossas fotos e outros dados científicos.

Dia 13 Olhamos para trás e tiramos as primeiras fotografias jamais obtidas da Terra e da Lua como mundos que convivem em paz. Um belo par.

Dia 150 Motores acionados a contento para uma correção de trajetória a meio percurso.

Dia 170 Tarefas caseiras de rotina. Foram alguns meses sem eventos significativos.

Dia 185 Calibração bem-sucedida de imagens tomadas de Júpiter.

Dia 207 Problema na lança do suporte resolvido, mas falha no principal radiotransmissor. Passamos para o transmissor reserva. Se falhar, ninguém na Terra nos ouvirá de novo.

Dia 215 Cruzamos a órbita de Marte. O próprio planeta está agora do outro lado do Sol.

Dia 295 Entramos no cinturão de asteroides. Muitos deles são grandes, rochedos que rolam por aqui, os bancos de areia e recifes do espaço. A maioria não está mapeada. Imagens foram enviadas. Esperamos que não haja colisão.

Dia 475 Saímos com segurança do principal cinturão de asteroides, felizes por termos sobrevivido.

Dia 570 Júpiter está ficando proeminente no céu. Podemos agora divisar nele detalhes que os maiores telescópios na Terra jamais obtiveram.

Dia 615 Os colossais sistemas climáticos e as nuvens mutantes de Júpiter, girando no espaço a nossa frente, nos hipnotizam. O planeta é imenso. Tem duas vezes mais massa do que todos os outros planetas somados. Não há montanhas, vales, vulcões, rios; não há fronteiras entre o solo e o ar; apenas um vasto oceano de gás denso e nuvens a flutuar — um mundo sem superfície. Tudo o que vemos em Júpiter está flutuando no céu.

Dia 630 O clima em Júpiter continua sendo espetacular. Esse mundo tão pesado faz um giro completo em torno de seu eixo em

menos de dez horas. Seus movimentos atmosféricos são conduzidos por essa rotação rápida, pela luz solar e pelo calor que borbulha e jorra de seu interior.

Dia 640 Os padrões das nuvens são nítidos e esplendorosos. Lembram um pouco o quadro *Noite estrelada*, de Van Gogh, ou obras de William Blake ou Edvard Munch. Mas só um pouco. Nenhum artista jamais pintou isso porque nenhum jamais deixou nosso planeta. Nenhum pintor preso à Terra jamais imaginou um mundo tão estranho e encantador.

Observamos de perto os cinturões multicoloridos e as faixas de Júpiter. As faixas brancas são tidas como nuvens em grande altitude, talvez cristais de amônia; os cinturões de cor amarronzada, lugares mais profundos e mais quentes onde a atmosfera está afundando. Os lugares azuis são, ao que parece, buracos profundos nas nuvens superpostas, através dos quais se avista o céu claro.

Não sabemos a razão para a cor vermelho-amarronzada de Júpiter. Talvez seja devido à química do fósforo ou do enxofre. Talvez por causa das complexas moléculas orgânicas de cores brilhantes produzidas quando a luz ultravioleta do Sol quebra o metano, a amônia e a água na atmosfera joviana e os fragmentos moleculares se recombinam. Nesse caso, as cores de Júpiter nos falam de eventos químicos que 4 bilhões de anos atrás, lá na Terra, levaram à origem da vida.

Dia 647 A Grande Mancha Vermelha. Uma grande coluna de gás, erguendo-se bem alto, acima das nuvens adjacentes, tão grande que poderia conter meia dúzia de Terras. Talvez seja vermelha porque está tornando visíveis as complexas moléculas produzidas ou concentradas a grande profundidade. Pode ser um grande sistema de tempestade com 1 milhão de anos de idade.

Dia 650 Encontro. Um dia de maravilhas. Conseguimos contornar os traiçoeiros cinturões de radiação de Júpiter com apenas um instrumento, o fotopolarímetro, que se danificou. Conseguimos atravessar o plano do anel sem sofrer colisões com as partículas e as rochas dos recém-descobertos anéis de Júpiter. Imagens esplêndidas de Amalteia, um mundo minúsculo, vermelho, oblongo, que vive bem no interior do cinturão de radiação; do multicolorido Io; das marcas lineares em Europa; os padrões em teia de aranha de Ganimedes; a grande bacia de anéis múltiplos em Calisto. Rodeamos Calisto e passamos pela órbita de Júpiter 13, a mais exterior das luas conhecidas do planeta. Estamos saindo daqui.

Dia 662 Nossos detectores de partículas e de campo nos indicam que deixamos os cinturões de radiação jovianos. A gravidade do planeta aumentou nossa velocidade. Enfim estamos livres de Júpiter e navegamos de novo no mar do espaço.

Dia 874 Perda do trancamento com o ponto fixo de referência da nave na estrela Canopus — que é na tradição das constelações o leme de um veleiro. É nosso leme também, essencial para a orientação da nave na escuridão do espaço, para que achemos nosso rumo através dessa região inexplorada do oceano cósmico. Refeito nosso trancamento com Canopus. Parece que os sensores ópticos confundiram Alfa e Beta de Centauro com Canopus. Próximo porto de chamada, daqui a dois anos: o sistema de Saturno.

De todas as histórias de viajantes trazidas pela *Voyager*, as minhas favoritas dizem respeito às descobertas feitas no mais interior dos satélites galileanos, Io. Antes da *Voyager*, sabíamos que havia algo de estranho com Io. Podíamos discernir poucas características em sua superfície, mas sabíamos que era vermelho — extremamente vermelho, mais vermelho do que Marte, talvez o objeto mais vermelho no sistema solar. No decorrer de anos algo parecia estar mudando nele, na luz infravermelha e talvez nas propriedades de reflexão do radar. Sabíamos também que, circundando parcialmente Júpiter na posição orbital de Io, havia, no formato de uma rosquinha, um grande tubo de átomos de enxofre, sódio e potássio, talvez material perdido por Io.

Quando a *Voyager* se aproximou dessa lua gigantesca, deparamos com uma estranha superfície multicolorida diferente de qualquer outra no sistema solar. Io está perto do cinturão de asteroides. Em sua história deve ter sido atingido sem cessar por rochas cadentes. Mas não havia nenhuma à vista. De acordo com isso, deveria ter havido em Io algum processo muitíssimo eficiente de apagar ou preencher as crateras. O processo poderia não ser atmosférico, já que a maior parte da atmosfera de Io escapara para o espaço, devido a sua baixa gravidade. Não poderia haver água corrente; a superfície de Io é fria demais. Havia alguns lugares que pareciam ser os cumes de vulcões. Mas era

difícil ter certeza quanto a isso.

Linda Morabito, membro da equipe de navegação da *Voyager*, responsável por manter a espaçonave em sua trajetória exata, estava, como parte de sua rotina, instruindo um computador a ampliar uma imagem do perímetro de Io, para ressaltar as estrelas atrás dele. Para seu espanto, viu uma coluna de fumaça branca destacando-se da escuridão da superfície do satélite e logo determinou que essa coluna estava na posição exata de um dos suspeitos vulcões. A *Voyager* tinha descoberto o primeiro vulcão ativo além dos que existem na Terra. Hoje sabemos de nove grandes vulcões que expelem gases e detritos, e de centenas — talvez milhares — de vulcões extintos em Io. Os detritos, rolando e fluindo pelas encostas das montanhas vulcânicas, ou em grandes jatos em arco sobre a paisagem policrômica, seriam mais que suficientes para cobrir as crateras de impacto. Estamos olhando para um panorama planetário recente, uma superfície que acabou de eclodir. Isso deixaria Galileu e Huygens maravilhados.

Os vulcões de Io foram previstos, antes de serem descobertos, por Stanton Peale e seus colaboradores, que calcularam as marés que se elevariam no sólido interior de Io pelos efeitos combinados da atração de uma lua próxima, Europa, e de Júpiter. Descobriram que as rochas dentro de Io deviam ter se derretido, não pela radioatividade, mas por esse efeito de maré; que grande parte do interior do satélite devia ser líquida. Agora parece ser provável que os vulcões de Io estejam dando vazão a um oceano subterrâneo de enxofre líquido, derretido e concentrado junto à superfície. Quando enxofre sólido é aquecido a um pouco mais que o ponto de ebulição normal da água, cerca de 115 graus Celsius, ele derrete e muda de cor; quanto mais elevada a temperatura, mais profunda é a cor. Se o enxofre derretido for resfriado rápido, ele mantém a cor. O padrão de cores que vemos em Io se parece muito com o que seria de esperar se rios e torrentes e lençóis de enxofre derretido estivessem se derramando das bocas dos vulcões: enxofre negro, o mais quente, perto do cume do vulcão; vermelho e laranja, nas regiões próximas, inclusive nos rios; e grandes planícies cobertas de enxofre amarelo a uma distância maior. A superfície de Io está mudando numa escala de tempo de meses. Mapas terão de ser feitos com regularidade, como nos relatórios climáticos na Terra. Os futuros exploradores de Io terão de estudá-los com calma e discernimento.

A *Voyager* descobriu que a atmosfera muito rarefeita e tênue de Io é composta sobretudo por dióxido de enxofre. Mas essa atmosfera rarefeita pode ser útil, por ter espessura suficiente para proteger a superfície das partículas intensamente carregadas do cinturão de radiação de Júpiter, no qual Io está inserido. À noite a temperatura cai tanto que o dióxido de enxofre se condensa numa espécie de geada branca; as partículas carregadas podem então queimar a superfície, e talvez fosse sensato passar as noites um pouco abaixo dela.

As grandes colunas de fumaça vulcânica de Io chegam a tal altura que ficam próximas de injetar seus átomos direto no espaço que circunda Júpiter. Os vulcões são a provável fonte do grande anel em forma de rosca feito de átomos que circunda Júpiter na posição da órbita de Io. Esses átomos, que vão gradualmente, em movimentos de espiral, em direção a Júpiter, envolvem a lua interior Amalteia e podem ser responsáveis por sua cor avermelhada. É até possível que material expelido de Io em forma de gás contribua, depois de muitas colisões e condensações, para o sistema de anéis de Júpiter.

Uma substancial presença humana no próprio Júpiter é muito mais difícil de imaginar — embora eu ache que cidades dentro de grandes balões que flutuam na atmosfera seja uma possibilidade tecnológica num futuro distante. Visto dos lados mais próximos a ele de Io ou de Europa, esse imenso e variável mundo preenche grande parte do céu, pendurado lá em cima, nunca nascendo ou se pondo, porque quase todo satélite no sistema solar mantém sempre a mesma face voltada para seu planeta, como a Lua faz com a Terra. Júpiter será uma fonte de continuada provocação e excitação para os futuros exploradores humanos das luas jovianas.

À medida que o sistema solar se condensava de gás e poeira, Júpiter adquiria a maior parte da matéria que não era ejetada no espaço interestelar e que não ia formar o Sol. Se Júpiter tivesse uma massa dezenas de vezes maior, a matéria em seu interior teria passado por reações termonucleares e ele teria começado a brilhar com sua própria luz. O maior planeta é uma estrela que não vingou. Mesmo assim, suas temperaturas interiores são tão altas que desprendem o dobro da quantidade de energia que ele recebe do Sol. Considerando a parte infravermelha do espectro, poderia ser correto considerar Júpiter uma estrela. Se se tornasse uma estrela com luz visível, habitaríamos hoje um sistema binário, ou de estrelas duplas, com dois sóis em nosso céu, e as noites seriam mais raras, o que é comum, creio, em incontáveis sistemas solares por toda a Via Láctea. Sem dúvida iríamos achar tais circunstâncias naturais e aprazíveis.

Muito abaixo das nuvens de Júpiter, o peso das camadas superpostas da atmosfera produz pressões muito mais altas do que qualquer uma na Terra, pressões tão grandes que os elétrons são atirados para fora dos átomos de hidrogênio, produzindo uma substância extraordinária, o hidrogênio metálico líquido — estado físico que nunca se atinge na Terra. (Há alguma esperança de que o hidrogênio metálico em temperaturas moderadas seja um supercondutor. Se pudesse ser fabricado aqui, faria uma revolução na eletrônica.)**** No interior do planeta, onde as pressões são cerca de 3 milhões de vezes maiores do que a pressão atmosférica na superfície da Terra, não existe quase nada além de um oceano escuro e esguinchante de hidrogênio metálico. Mas bem no centro de Júpiter pode haver um caroço de rocha e ferro, um mundo parecido com a Terra dentro de um torno de pressão, oculto para sempre no centro do maior dos planetas.

As correntes elétricas no interior de metal líquido podem ser a fonte do enorme campo magnético do planeta, o maior no sistema solar, e do cinturão de elétrons e prótons cativos a ele associado. Essas partículas carregadas são ejetadas do Sol no vento solar, e capturadas e aceleradas pelo campo magnético de Júpiter. Grandes quantidades delas estão presas muito acima das nuvens, condenadas a ir e vir de polo a polo até encontrarem por acaso alguma molécula atmosférica em grande altitude e serem removidas do cinturão de radiação. Io move-se numa órbita tão próxima de Júpiter que passa sulcando pelo meio dessa intensa radiação, criando cascatas de partículas carregadas, que por sua vez geram violentas irrupções de energia em comprimento de onda de rádio. (Podem também influenciar processos eruptivos na superfície do satélite.) Computando a posição de Io, é possível predizer irrupções de rádio de Júpiter com confiabilidade maior do que as das previsões de tempo na Terra.

O fato de Júpiter ser uma fonte de emissão de rádio foi descoberto por acaso na década de 1950, início da época da radioastronomia. Dois jovens americanos, Bernard Burke e Kenneth Franklin,

estavam examinando o céu com um radiotelescópio recém-construído muito sensível para aquela época. Buscavam um background de rádio cósmico — isto é, fontes de rádio situadas muito além de nosso sistema solar. Para sua surpresa, encontraram uma fonte intensa, não referida antes, que não parecia corresponder a nenhuma estrela, nebulosa ou galáxia proeminente. Além disso, movia-se gradualmente em relação a estrelas longínquas, muito mais rápido do que seria capaz qualquer objeto remoto.[10] Não tendo encontrado uma explicação provável para tudo isso em suas cartas do distante cosmos, eles um dia saíram do observatório e olharam para cima, para o céu a olho nu, para ver se estava acontecendo lá algo interessante. Perplexos, notaram um objeto de brilho excepcional no lugar certo, que de imediato identificaram como o planeta Júpiter. Essa descoberta acidental é, aliás, bem típica na história da ciência.

Toda noite, antes do encontro da *Voyager 1* com Júpiter, eu podia ver o planeta gigante cintilando no céu, uma visão com a qual nossos ancestrais tinham se encantado e admirado durante 1 milhão de anos. E na noite do Encontro, a caminho para estudar os dados da *Voyager* que chegavam no Laboratório de Proupulsão a Jato, pensei que Júpiter nunca mais seria o mesmo, nunca mais apenas um ponto de luz no céu noturno, e seria agora, para sempre, um *lugar* a ser explorado e conhecido. Júpiter e suas luas são uma espécie de miniatura do sistema solar e de mundos primorosos que têm muito a nos ensinar.

Em sua composição e em muitos outros aspectos Saturno é similar a Júpiter, conquanto menor. Fazendo uma rotação completa a cada dez horas, exibe uma faixa equatorial colorida que é, contudo, não tão proeminente quanto a de Júpiter. Tem um campo magnético e um cinturão de radiação mais fracos que os de Júpiter, e um conjunto mais espetacular de anéis circundando o planeta. É também circundado por uma dúzia ou mais de satélites.*****

A mais interessante das luas de Saturno parece ser Titã, a maior lua do sistema solar e a única com uma atmosfera substancial. Antes do encontro da *Voyager 1* com Titã em novembro de 1980, nossa informação sobre ele era escassa e sedutora. O único gás conhecido cuja presença é inequívoca era o metano, CH_4, descoberto por G. P. Kuiper. A luz ultravioleta do Sol transforma o metano em moléculas de hidrocarbonetos mais complexas e em gás de hidrogênio. Os hidrocarbonetos permanecem em Titã, cobrindo sua superfície com uma borra orgânica de alcatrão amarronzada, um tanto parecida com a produzida em experimentos sobre a origem da vida na Terra. O leve gás de hidrogênio, devido à baixa gravidade de Titã, escapa com rapidez para o espaço num violento processo chamado “*blow off*”, que carrega o metano e, com ele, outros componentes da atmosfera. Mas Titã tem uma pressão atmosférica pelo menos tão grande quanto a de Marte. Não parece estar havendo *blow off*. Talvez haja algum importante e ainda não descoberto constituinte atmosférico — nitrogênio, por exemplo, que mantém alto o peso molecular médio da atmosfera e impede o *blow off*. Ou talvez haja *blow off*, mas com os gases que são perdidos para o espaço sendo substituídos por outros expelidos do interior do satélite. A densidade da massa de Titã é tão baixa que deve haver um vasto suprimento de água e de outros gelos, talvez incluindo o metano, que, em quantidades desconhecidas, estão sendo liberados para a superfície pelo aquecimento interno.

Quando examinamos Titã ao telescópio, vemos um disco avermelhado quase imperceptível. Alguns observadores têm relatado a presença de nuvens brancas variáveis por cima desse disco — o

mais provável é que sejam nuvens de cristais de metano. Mas qual seria a causa da cor avermelhada? A maioria dos que estudam Titã concorda em que moléculas orgânicas complexas seriam a explicação mais plausível. A temperatura da superfície e a espessura da atmosfera ainda estão em discussão. Tem havido alguns indícios de um aumento da temperatura da superfície devido a um efeito estufa atmosférico. Com abundantes moléculas orgânicas em sua superfície e em sua atmosfera, Titã é um notável e singular habitante do sistema solar. A história de nossas viagens de descoberta no passado sugere que a *Voyager* e outras espaçonaves em missões de reconhecimento revolucionarão nosso conhecimento desse lugar.

Por uma brecha nas nuvens de Titã pode-se avistar Saturno e seus anéis, sua pálida cor amarelada difusa pela atmosfera interveniente. Como o sistema de Saturno fica a uma distância do Sol dez vezes maior que a da Terra, a luz solar em Titã tem apenas 1% da intensidade com a qual estamos acostumados, e as temperaturas devem estar muito abaixo do ponto de congelamento da água, mesmo com um considerável efeito estufa. Mas tendo abundante matéria orgânica, luz solar e talvez pontos vulcânicos quentes, a possibilidade de haver vida em Titã[11] não pode ser descartada. Nesse meio ambiente tão diferente, ela teria de ser, é claro, muito diferente da vida na Terra. Não há evidências fortes pró ou contra a possibilidade de vida lá. Simplesmente é possível. Não é possível achar uma resposta a essa pergunta sem pousar veículos espaciais dotados de instrumentos na superfície de Titã.

Para examinar as partículas individuais que formam os anéis de Saturno temos de nos aproximar muito deles, pois as partículas são pequenas — bolas de neve, lascas de gelo e pequenas geleiras em forma de bonsai com um metro de diâmetro ou algo assim. Sabemos que são compostas de gelo de água, porque as propriedades da luz solar refletida nos anéis batem com as do gelo nas medições de laboratório. Para nos aproximarmos das partículas em um veículo espacial temos de diminuir a velocidade, de modo a nos movermos junto com elas enquanto circundam Saturno a mais de 70 mil quilômetros por hora; isto é, temos de ficar nós mesmos em órbita de Saturno, movendo-nos com a mesma velocidade das partículas. Só então poderemos vê-las individualmente, e não como manchas ou traços.

Por que não existe um único e grande satélite, em vez de um sistema de anéis em torno de Saturno? Quanto mais perto uma partícula do anel está do planeta, maior é sua velocidade orbital (mais rápido está "caindo" em torno do planeta — terceira lei de Kepler); as partículas internas estão ultrapassando as externas (faixa de ultrapassagem, já que as vemos sempre à esquerda). Embora todo o conjunto esteja se movendo em torno do planeta a uns vinte quilômetros por segundo, a velocidade *relativa* entre duas partículas adjacentes é muito baixa, só de alguns centímetros por minuto. Por causa desse movimento relativo entre elas, as partículas nunca podem se atrair e juntar devido à ação recíproca de sua gravidade. Assim que o tentam, duas velocidades orbitais ligeiramente diferentes as afastam uma da outra. Se o anel não estivesse tão próximo de Saturno, esse efeito não seria forte e as partículas poderiam se agregar, criando pequenas bolas de neve e mais tarde crescendo para formar satélites. Assim, talvez não seja coincidência que fora dos anéis de Saturno exista um sistema de satélites de tamanho variável, desde poucas centenas de quilômetros de diâmetro até Titã, uma lua gigante quase do tamanho de Marte. Na sua origem, a

matéria de todos os satélites e dos próprios planetas pode ter sido distribuída na forma de anéis, que se condensaram e acumularam para formar as atuais luas e planetas.

Tanto em Saturno quanto em Júpiter, o campo magnético captura e acelera as partículas elétricas carregadas presentes no vento solar. Quando uma dessas partículas oscila de um polo a outro ela tem de atravessar o plano equatorial de Saturno. Se existir no caminho uma partícula do anel, o próton ou elétron é absorvido por essa pequena bola de neve. Como resultado, em ambos os planetas, os anéis vão acabando com esses cinturões de radiação, que só existem no interior e no exterior dos anéis de partículas. Uma lua próxima de Júpiter ou de Saturno, da mesma forma, engolirá partículas do cinturão de radiação, e de fato uma das novas luas de Saturno foi descoberta exatamente dessa maneira: a *Pioneer 11* encontrou uma inesperada brecha nos cinturões de radiação, causada pela absorção de partículas carregadas por uma lua antes desconhecida.

O vento solar penetra no sistema solar exterior, muito além da órbita de Saturno. Quando a *Voyager* alcançar Urano e as órbitas de Netuno e Plutão, se os instrumentos ainda estiverem funcionando, quase com certeza sentirão sua presença, do vento que sopra entre os mundos, o topo da atmosfera do Sol sendo soprado para fora, para o reino das estrelas. Duas ou três vezes mais afastada do Sol do que Plutão, a pressão dos prótons e elétrons interestelares fica maior do que a minúscula pressão que exerciam no vento solar. Essa região, chamada heliopausa, define a fronteira que delimita o Império do Sol. Porém a espaçonave *Voyager* mergulhará mais além, penetrando na heliopausa por volta de meados do século XXI, saltando para o oceano do espaço para não mais entrar em outro sistema solar, destinada a vagar pela eternidade para longe das ilhas estelares e completar sua primeira circum-navegação do maciço centro da Via Láctea dentro de algumas centenas de milhões de anos. Já estamos embarcados em viagens épicas.

---

* Nos dias de hoje conhecemos 69 satélites naturais em Júpiter. (N. R. T.)

** No original, "*the Gothic squint and squalor*". (N. T.)

*** Hoje sabemos que Ganímedes, a maior lua de Júpiter, possui massa e dimensões ligeiramente maiores que Titã. (N. R. T.)

**** A comprovação da existência e a produção experimental só foram reportadas em março de 2017. (N. R. T.)

***** Há pelo menos 62 satélites conhecidos em Saturno atualmente. (N. R. T.)

7. A espinha dorsal da noite

Eu preferiria compreender uma causa a ser o rei da Pérsia.

Demócrito

Se fosse feito um relato confiável das ideias do Homem sobre a Divindade, ele seria obrigado a reconhecer que, na maioria das vezes, a palavra "deuses" tem sido usada para expressar as causas ocultas, remotas, desconhecidas dos efeitos que ele testemunhou; que ele aplica esse termo quando a fonte do que é natural, a origem de causas conhecidas, deixa de ser visível: assim que perde o fio que leva a essas causas, ou assim que sua mente não mais consegue seguir sua cadeia, ele resolve a dificuldade, encerra sua pesquisa, atribuindo-as a seus deuses [...]. Quando, portanto, ele atribui a seus deuses a produção de alguns fenômenos [...] ele de fato estaria fazendo algo mais do que substituir a escuridão de sua própria mente por um som o qual se acostumou a ouvir com reverente temor?

Paul Heinrich Dietrich, barão Von Holbach, *Système de la Nature*, Londres, 1770

Quando criança, morei no bairro de Bensonhurst, no Brooklyn, cidade de Nova York. Conhecia bem minha vizinhança, cada prédio de apartamentos, cada pombal, pórtico com degraus, terreno baldio, cada olmo, grade ornamental, duto para carvão, cada muro para brincar de handebol chinês, entre os quais o exterior de tijolos de um teatro chamado Loew's Stillwell era da melhor qualidade. Sabia onde moravam muitas pessoas: Bruno e Dino, Ronald e Harvey, Sandy, Bernie, Danny, Jackie e Myra. Porém alguns quarteirões adiante, ao norte do barulhento tráfego de automóveis e do elevado ferroviário na rua 86, havia um território estranho e desconhecido, fora dos limites de minhas perambulações. Até onde eu sabia, aquilo poderia ser Marte.

Mesmo quando se ia dormir cedo, no inverno podia-se às vezes ver as estrelas. Eu ficava olhando para elas, cintilando e distantes, e me perguntava o que elas eram. Perguntava a outras crianças e aos adultos, que só respondiam: "São luzes no céu, garoto". Eu podia *ver* que eram luzes no céu, mas o que *eram* elas? Apenas pequenas lâmpadas flutuantes? Para quê? Sentia um pouco de pena delas: uma banalidade cuja estranheza continuava de certo modo oculta a meus indiferentes camaradas. Devia haver uma resposta mais profunda.

Assim que tive idade para isso, meus pais me deram meu primeiro cartão de biblioteca. Acho que a biblioteca ficava na rua 85, uma terra estrangeira. De imediato pedi à bibliotecária algo sobre astros e estrelas. Ela voltou com um livro de fotografias com retratos de homens e mulheres com nomes como Clark Gable e Jean Harlow. Reclamei, e por algum motivo que não compreendi ela sorriu e achou outro livro — esse, do tipo correto. Eu o abri ofegante e fui lendo até encontrar. O livro dizia algo espantoso, uma ideia muito grande para se imaginar. Dizia que as estrelas eram sóis, só que muito distantes. O Sol era uma estrela, só que muito próxima.

Imagine pegar o Sol e levá-lo para tão longe que ele só fosse um minúsculo ponto de luz cintilante. A que distância teria de levá-lo? Eu não tinha noção de grandeza angular. Ignorava a lei

do inverso do quadrado na propagação da luz. Não tinha o mínimo resquício de chance de calcular a distância até as estrelas. Mas já sabia que, se as estrelas eram sóis, teriam de estar muito longe — muito mais longe que a rua 85, que Manhattan, talvez mais distantes que Nova Jersey. O cosmos era muito maior do que eu tinha imaginado.

Mais tarde li sobre outro fato espantoso. A Terra, o que incluía o Brooklyn, era um planeta e girava em torno do Sol. Havia outros planetas. Eles também giravam em torno do Sol, alguns mais perto dele, outros mais afastados. Mas os planetas não brilham com luz própria, como o Sol. Eles apenas refletem a luz do Sol. Se você estivesse a uma grande distância, não veria a Terra nem nenhum dos outros planetas; seriam apenas pontos luminosos quase indistintos, perdidos no intenso brilho do Sol. Bem, pensei, então pela lógica as outras estrelas também devem ter planetas, que ainda não foram detectados, e em alguns desses outros planetas deve haver vida (por que não?), talvez um tipo de vida diferente da que conhecemos, a no Brooklyn. Decidi então que seria astrônomo, estudaria as estrelas e os planetas e, se pudesse, iria visitá-los.

Tive a imensa sorte de ter pais e alguns professores que incentivaram essa estranha ambição e de viver nesta época, primeiro momento na história humana em que estamos, de fato, visitando outros mundos e nos engajando num profundo reconhecimento do cosmos. Se tivesse nascido numa época muito anterior, não importa o quanto me dedicasse, não chegaria a compreender o que são as estrelas e os planetas. Não teria sabido que há outros sóis e outros mundos. Esse é um dos grandes segredos, arrancados da natureza durante 1 milhão de anos de observação consciente e pensamento corajoso de nossos ancestrais.

O que são as estrelas? Essas perguntas são tão naturais quanto o sorriso de uma criança. São perguntas que sempre fizemos. A diferença em nossa época é que enfim temos algumas das respostas. Livros e bibliotecas oferecem um meio imediato para descobrir quais são essas respostas. Na biologia existe um princípio de poderosa e imperfeita aplicabilidade chamado recapitulação: em nosso desenvolvimento embrionário individual recriamos a história evolucionária da espécie. Acho que também existe um tipo de recapitulação que ocorre em nosso desenvolvimento intelectual individual. De maneira inconsciente, repassamos os pensamentos de nossos ancestrais remotos. Imagine uma época anterior à ciência, anterior às bibliotecas. Imagine uma era centenas de milhares de anos atrás. Éramos então igualmente inteligentes, igualmente curiosos, igualmente envolvidos em questões sociais e sexuais. Mas ainda não tinham sido feitos experimentos, nem feitas invenções. Era a infância do gênero *Homo*. Imagine a época em que surgiu o fogo pela primeira vez. Como era então a vida humana? O que nossos antepassados acreditavam que fossem as estrelas? Às vezes, em minhas fantasias, imagino que havia alguém que pensava desta maneira:

Comemos frutas silvestres e raízes. Nozes e folhas. E animais mortos. Alguns animais nós achamos. Outros, matamos. Sabemos quais alimentos são bons e quais são perigosos. Se experimentamos determinados alimentos, isso nos faz mal, como castigo por tê-los comido. Não tínhamos a intenção de fazer algo ruim. Mas dedaleira ou cicuta podem matar você. Amamos nossos filhos e nossos amigos. Nós os prevenimos quanto a alimentos como esses.

Quando caçamos animais, também podemos ser mortos. Podemos ser chifrados. Ou esmagados. Ou devorados. Animais significam para nós vida e morte: como se comportam, que rastros eles deixam, quais

são as épocas de acasalamento e de dar cria, as épocas em que migram. Temos de saber essas coisas. Contamos para nossos filhos. Eles contarão aos filhos deles.

Dependemos de animais. Nós os seguimos — sobretudo no inverno, quando há poucas plantas para comer. Somos caçadores nômades e coletores. Nós nos chamamos de povo da caça.

A maioria de nós dorme a céu aberto, ou debaixo de uma árvore, ou em seus galhos. Usamos roupas feitas de peles de animais: para nos aquecer, para cobrir nossa nudez e às vezes como uma rede de dormir. Quando usamos peles de animais, sentimos a força deles. Saltamos como a gazela. Caçamos como o urso. Existe uma ligação entre nós e os animais. Caçamos e comemos animais. Eles nos caçam e nos comem. Somos parte uns dos outros.

Fazemos ferramentas e nos mantemos vivos. Alguns de nós são peritos em partir, lascar, afiar e polir rochas, bem como em encontrá-las. Algumas rochas nós prendemos, com tendões de animais, a um cabo de madeira, e fazemos um machado. Com o machado abatemos plantas e animais. Outras rochas são amarradas a longos cabos. Se ficarmos imóveis e atentos conseguiremos às vezes nos aproximar de um animal e espetá-lo com a lança.

A carne se estraga. Às vezes temos fome e tentamos não demonstrar. Às vezes misturamos ervas com a carne estragada para esconder o gosto. Embrulhamos alimento que não queremos desperdiçar em pedaços de pele de animal. Ou em folhas grandes. Ou na casca de uma noz grande. É sensato separar comida e guardá-la. Se comermos esse alimento cedo demais, alguns de nós passarão fome depois. Assim, devemos nos ajudar uns aos outros. Por essa e muitas outras razões temos regras. Todos devem obedecer às regras. Sempre tivemos regras. As regras são sagradas.

Um dia houve uma tempestade, com muitos relâmpagos, trovões e chuva. Os pequeninos têm medo de tempestades. E às vezes eu também. Há um segredo oculto nas tempestades. O trovão é profundo e ruidoso, o relâmpago é breve e brilhante. Talvez alguém muito poderoso esteja muito zangado. Deve ser alguém no céu, acho.

Após a tempestade houve umas cintilações e uns estalos na floresta próxima. Fomos lá ver. Havia uma coisa brilhante, quente, saltitante, amarela e vermelha. Nunca tínhamos visto isso antes. Agora a chamamos de "chama". Tem um cheiro especial. De certa forma, está viva. Ela se alimenta. Come plantas, galhos de árvore e até árvores inteiras, se você deixar. É forte. Mas não é muito esperta. Se a comida acaba, ela morre. Não anda sequer a distância de arremesso de uma lança de uma árvore para outra se não houver comida no caminho. Não consegue avançar sem comer. Mas onde há muita comida ela cresce e cria muitas chamas filhotes.

Um de nós teve uma ideia corajosa e temerária: capturar a chama, alimentá-la um pouco e fazer com que seja nossa amiga. Pegamos alguns galhos compridos de madeira dura. A chama os estava comendo, mas devagar. Podíamos segurar o galho na ponta onde não havia chama. Se você correr com uma chama pequena, ela morre. Seus filhotes são fracos. Não corremos. Caminhamos, com brados de estímulo. "Não morra", dissemos à chama. Os outros caçadores olhavam de olhos arregalados.

Mesmo depois, nós a guardamos conosco. Temos uma chama mãe para alimentar a chama devagar, para que não morra de fome.[1] *A chama é um instrumento maravilhoso e útil também; com certeza é uma dádiva de seres poderosos. Serão os mesmos que os seres raivosos da tempestade?*

A chama nos mantém aquecidos nas noites frias. Fornece-nos luz. Faz buracos na escuridão quando a

lua é nova. Podemos preparar as lanças à noite, para a caça de amanhã. E se não estivermos cansados, mesmo quando está escuro podemos nos ver e conversar. Também — e isso é bom! — o fogo mantém os animais afastados. Podemos ser feridos durante a noite. Às vezes temos sido devorados, até por animais pequenos, hienas e lobos. Agora é diferente. Agora a chama mantém os animais longe. Nós os vemos ladrando baixinho no escuro, vagando, os olhos brilhando à luz da chama. Eles têm medo da chama. Mas nós, não. A chama é nossa. A chama cuida de nós.

O céu é importante. Ele nos cobre. Fala conosco. Antes de termos encontrado a chama ficávamos deitados no escuro olhando para cima, para os pontos de luz. Alguns pontos se juntam e formam uma figura no céu. Uma de nós via essas figuras melhor do que os outros. Ela nos ensinava como eram as figuras e com que nomes chamá-las. Ficávamos sentados em círculo até tarde da noite contando histórias sobre as figuras no céu: leões, cães, ursos, caçadores. E outras coisas estranhas. Será que eram as figuras dos seres poderosos no céu, os que faziam as tempestades quando estavam zangados?

O céu em geral não muda. As mesmas figuras de estrelas estão lá ano após ano. A lua cresce do nada até uma fina fatia e uma bola redonda, e depois volta para o nada. Quando a lua muda, as mulheres sangram. Algumas tribos têm regras contra fazer sexo em certos momentos do crescimento e diminuição da lua. Algumas tribos marcam com traços em chifres os dias da lua ou os dias em que as mulheres sangram. Assim podem planejar o futuro e obedecer a suas regras. Regras são sagradas.

As estrelas estão muito distantes. Quando subimos um morro ou trepamos numa árvore elas não ficam mais próximas. E aparecem nuvens entre nós e as estrelas: as estrelas devem ficar atrás das nuvens. A Lua, ao se mover com vagar, passa na frente das estrelas. Depois dá para ver que as estrelas não foram atingidas. A Lua não come as estrelas. As estrelas devem estar atrás da Lua. Elas cintilam. Com uma luz estranha, fria, branca e distante. São muitas. Cobrem todo o céu. Mas só à noite. Fico me perguntando o que será que elas são.

Depois que encontramos a chama, eu estava sentado junto à fogueira pensando nas estrelas. Devagar formou-se uma ideia: as estrelas são chama, pensei. Tive então outra ideia: as estrelas são fogueiras que outros caçadores acendem à noite. A luz das estrelas é menor do que a das fogueiras. Assim, as estrelas devem ser fogueiras muito distantes. "Mas", me perguntam, "como pode haver fogueiras no céu? Como é que as fogueiras e os caçadores em volta dessas chamas não caem a nossos pés? Por que essas tribos estranhas não caem do céu?"

São boas perguntas. Elas me preocupam. Às vezes penso que o céu é a metade de uma grande casca de ovo ou casca de noz. Acho que essas pessoas em torno daquelas fogueiras distantes olham para baixo, para nós — só que para elas é para cima — e dizem que estamos no céu delas, e se perguntam como é que não caímos em cima delas, se é que me entende. Mas os caçadores costumam dizer: "Embaixo é embaixo e em cima é em cima". Essa resposta é boa também.

Um de nós pensou outra coisa. Sua ideia é que a noite é uma grande pele de animal, atirada no céu. Na pele existem buracos. Olhamos através dos buracos. E vemos a chama. A ideia dele é que não há chama apenas nos poucos lugares em que vemos as estrelas. Ele acha que existe chama em toda parte. Que a chama cobre o céu inteiro. Mas a pele esconde a chama. Menos onde existem buracos.

Algumas estrelas se movem. Como os animais que caçamos. Como nós. Se você olhar com cuidado

durante muitos meses, verá que se movem. São apenas cinco, como os dedos de uma mão. Elas se movem sem pressa entre as estrelas. Se a ideia das fogueiras é verdadeira, essas estrelas devem ser tribos de caçadores nômades, carregando suas grandes fogueiras. Mas não vejo como estrelas nômades possam ser buracos numa pele. Quando se faz um buraco, ele fica lá. Um buraco é um buraco. Buracos não vagueiam. Também não quero imaginar que estou cercado por um céu de chama. Se a pele cair, o céu da noite ficará claro — claro demais —, veríamos chama por toda parte. Acho que um céu feito de chama comeria a nós todos. Talvez haja dois tipos de seres poderosos no céu. Os maus, que querem que a chama nos devore. E os bons, que põem a pele para manter a chama longe. Temos de encontrar um meio de agradecer aos bons.

Não sei se as estrelas são fogueiras no céu. Ou buracos numa pele através dos quais a chama do poder olha para baixo, para nós. Às vezes penso de um jeito. Às vezes penso de outro. Uma vez pensei que não existem fogueiras nem buracos, mas outra coisa, que me é muito difícil entender.

Apoie a cabeça num tronco. A cabeça se inclina para trás. Então você só vê o céu. Nem montanhas, nem árvores, nem caçadores, nem fogueira. Só o céu. Às vezes, sinto que posso cair para cima, no céu. Se as estrelas são fogueiras, eu gostaria de visitar esses outros caçadores — os que vagueiam. Aí me sinto bem com essa ideia de cair para cima. Mas se as estrelas são buracos numa pele, fico com medo. Não quero cair para cima através de um buraco dentro da chama do poder.

Gostaria de saber onde está a verdade. Não gosto de não saber.

Não imagino que muitos membros do grupo de caçadores-coletores tivessem pensamentos como esses a respeito das estrelas. Talvez, com o decorrer das eras, alguns tivessem, mas nunca todos esses pensamentos numa pessoa só. Contudo, ideias sofisticadas são comuns nessas comunidades. Por exemplo, os bosquímanos !kung[2] no deserto do Kalahari, em Botsuana, têm uma explicação para a Via Láctea, que em sua latitude está sempre visível no céu. Eles a chamam de "espinha dorsal da noite", como se o céu fosse um grande animal dentro do qual vivemos. Sua explicação faz a Via Láctea ser útil bem como compreensível. Os !kung acreditam que a Via Láctea sustenta a noite; que se não fosse ela, fragmentos de escuridão viriam se espatifar a nossos pés. É uma ideia bem elegante.

Metáforas como essas, de fogueiras celestiais ou espinhas dorsais galácticas, foram depois substituídas na maioria das culturas humanas por outra ideia: os seres poderosos no céu foram promovidos a deuses. Receberam nomes e parentes, e responsabilidades especiais por serviços cósmicos que se esperava que realizassem. Havia um deus ou uma deusa para cada assunto humano. Os deuses administravam a natureza. Nada poderia acontecer sem sua intervenção direta. Se eles estavam felizes, havia muito alimento e os humanos ficavam felizes. Mas se algo desagradasse aos deuses — e às vezes bastava muito pouco para isso —, as consequências eram terríveis: secas, tempestades, guerras, terremotos, erupções vulcânicas, epidemias. Os deuses tinham de ser obsequiados, e surgiu uma ampla indústria de sacerdotes e oráculos para zelar para que eles se zangassem menos. Mas como os deuses eram caprichosos, não se podia ter certeza do que fariam. A natureza era um mistério. Era difícil compreender o mundo.

Pouco resta do Heraião, na ilha de Samos, no mar Egeu, uma das maravilhas do mundo antigo, um grande templo dedicado a Hera, que começara sua carreira como deusa do céu. Ela era a divindade padroeira de Samos, onde desempenhava o mesmo papel que a deusa Atena em Atenas.

Muito depois ela se casou com Zeus, chefe dos deuses do Olimpo. Sua lua de mel foi em Samos, contam-nos antigas histórias. A religião grega explicava aquela faixa de luz difusa no céu noturno como sendo o leite de Hera, esguichado de seu seio através dos céus, lenda que originou a expressão ainda usada pelos ocidentais — Via Láctea. Talvez representasse na sua origem o importante conceito de que o céu amamenta a Terra; se era isso, tal significado parece ter sido esquecido já faz um milênio.

Somos, quase todos, descendentes de gente que reagia aos perigos existenciais inventando histórias sobre divindades imprevisíveis ou descontentes. Durante muito tempo o instinto humano de tentar compreender foi frustrado por explicações religiosas fáceis, como na Grécia Antiga no tempo de Homero, onde havia deuses do céu e da Terra, da tempestade, dos oceanos e do mundo subterrâneo, do fogo, do tempo, do amor e da guerra; onde toda árvore e todo prado tinha sua dríade e sua mênade.

Durante milhares de anos os seres humanos foram oprimidos — e alguns de nós ainda são — pela noção de que o universo é uma marionete cujos cordões são manejados por um deus ou por deuses, invisíveis e inescrutáveis. Então, há 2500 anos, houve um glorioso despertar na Jônia:[3] em Samos e outras colônias gregas próximas que se desenvolveram entre as ilhas e enseadas do movimentado mar Egeu oriental. De repente havia pessoas que acreditavam que tudo era feito de átomos; que seres humanos e outros animais tinham surgido de formas mais simples; que as doenças não eram causadas por demônios ou deuses; que a Terra era apenas um planeta girando em torno do Sol. E que as estrelas estavam muito distantes.

Essa revolução criou Cosmos a partir do Caos. Os gregos antigos acreditavam que o primeiro ser fora Caos, cujo significado corresponde à expressão do Gênese no mesmo contexto, "desprovido de forma". Caos fez a criação e depois se acasalou com uma deusa chamada Noite, e seus rebentos produziram depois todos os deuses e homens. Um universo criado do Caos estava em perfeita consonância com a crença grega numa natureza imprevisível conduzida por deuses caprichosos. Mas no século VI a.C., na Jônia, desenvolveu-se um novo conceito, uma das grandes ideias da espécie humana. O universo é conhecível, alegavam os antigos jônios, porque ele demonstra ter uma ordenação interna: há regularidades na natureza que permitem que seus segredos sejam descobertos. A natureza não é de todo imprevisível; existem regras às quais até ela tem de obedecer. Esse caráter ordenado e admirável do universo foi chamado de Cosmos.

Porém, por que a Jônia, por que nessas paisagens despretensiosas e pastorais, nessas remotas ilhas e enseadas do Mediterrâneo oriental? Por que não nas grandes cidades da Índia ou do Egito, da Babilônia, da China ou da Mesoamérica? A China tinha uma tradição milenar na astronomia; inventou o papel e a impressão, foguetes, relógios, a seda, a porcelana e marinhas oceânicas. Alguns historiadores alegam que, não obstante tudo isso, era uma sociedade muitíssimo tradicionalista, avessa a adotar inovações. Por que não na Índia, uma cultura extremamente rica e talentosa no campo da matemática? Por causa, sustentam alguns historiadores, de um rígido fascínio pela ideia de um universo de antiguidade infinita, condenado a um infindável ciclo de mortes e renascimentos, de almas e de universos, no qual nada que fosse novo poderia alguma vez acontecer. Por que não nas sociedades maia e asteca, que eram bem-sucedidas na astronomia e cativadas, como

os indianos, por grandes números? Porque, declaram alguns historiadores, careciam da aptidão ou do ímpeto para a invenção mecânica. Os maias e os astecas nem mesmo — a não ser para brinquedos de crianças — tinham inventado a roda.

Os jônios apresentavam vários pontos fortes a seu favor. A Jônia é um reino insular. O isolamento, mesmo incompleto, alimenta a diversidade. Com muitas e diferentes ilhas, existia ali uma variedade de sistemas políticos. Não havia nenhuma concentração de um poder único impondo uma conformidade social e intelectual a todas as ilhas. A livre investigação tornou-se possível. A promoção da superstição não era considerada uma necessidade política. Ao contrário de muitas outras culturas, os jônios estavam na encruzilhada das civilizações, não em um dos centros. Na Jônia, o alfabeto fenício foi pela primeira vez adaptado para ser usado pelos gregos, o que possibilitou a difusão do letramento. A escrita não era mais monopólio de sacerdotes e escribas. Muitos pensamentos de muita gente estavam disponíveis para consideração e debate. O poder político encontrava-se nas mãos de mercadores, que promoviam ativamente a tecnologia da qual dependia sua prosperidade. Foi no Mediterrâneo oriental que civilizações africanas, asiáticas e europeias, entre elas as grandes culturas do Egito e da Mesopotâmia, se encontraram e se fertilizaram umas às outras num vigoroso e inebriante confronto de preconceitos, línguas, ideias e deuses. O que se faz quando se defronta com vários deuses diferentes, que reivindicam, cada um, o mesmo território? Tanto o Marduk babilônio como o grego Zeus eram considerados o senhor do céu e rei dos deuses. Seria possível concluir que Marduk e Zeus eram na realidade um só e mesmo deus. Seria possível também concluir, já que tinham atributos bem diferentes, que um deles fora simplesmente inventado pelos sacerdotes. Mas se um fora inventado, por que não os dois?

E foi assim que surgiu a grande ideia, a percepção de que deveria haver um modo de conhecer o mundo sem a hipótese dos deuses; que deveria haver princípios, forças, leis da natureza, mediante os quais o mundo poderia ser compreendido sem que se atribuísse cada queda de um pardal à intervenção direta de Zeus.

A China, a Índia e a Mesoamérica também teriam, creio, se curvado à ciência se lhes tivessem dado um pouco mais de tempo. Culturas não se desenvolvem em ritmos iguais nem evoluem em marchas sincronizadas. Surgem em momentos diferentes e progridem segundo taxas diferentes. A visão científica do mundo funciona tão bem, explica tantas coisas e ressoa de maneira tão harmoniosa com as partes mais avançadas de nosso cérebro que com o tempo, penso, na prática toda cultura na Terra, empregando seus próprios mecanismos, teria descoberto a ciência. Algumas delas teriam de ser as primeiras. Como tudo indica, a Jônia foi o lugar no qual a ciência nasceu.

Essa grande revolução no pensamento humano começou entre 600 e 400 a.C. O elemento-chave da revolução foi a mão. Alguns dos brilhantes pensadores jônios eram filhos de marinheiros, agricultores e tecelões. Estavam acostumados a usar as mãos trabalhando ou consertando coisas, não como os sacerdotes e escribas de outras nações, que, criados no luxo, relutavam em sujá-las. Eles rejeitavam superstições e faziam maravilhas. Em muitos casos dispomos apenas de fragmentos de relatos em segunda mão do que acontecia. As metáforas que eram usadas então podem ser hoje obscuras para nós. É quase certo ter havido, alguns séculos depois, um esforço consciente para suprimir os novos insights. As principais figuras dessa revolução eram homens com nomes gregos,

cuja maior parte não nos é familiar hoje, mas eles foram os verdadeiros pioneiros no desenvolvimento de nossa civilização e de nossa humanidade.

O primeiro cientista jônio foi Tales de Mileto, cidade na Ásia no outro lado de um estreito canal de água na ilha de Samos. Ele tinha viajado pelo Egito e estava a par do conhecimento da Babilônia. Consta que previu um eclipse solar. Aprendeu a medir a altura de uma pirâmide a partir do comprimento de sua sombra e do ângulo do Sol em relação ao horizonte, método hoje empregado para determinar as alturas das montanhas da Lua. Foi o primeiro a demonstrar teoremas geométricos do tipo formulado por Euclides três séculos depois — por exemplo, a proposição de que os ângulos na base de um triângulo isósceles são iguais. Há uma evidente continuidade do esforço intelectual de Tales a Euclides e à aquisição, por Isaac Newton, dos *Elementos de geometria*, na Feira de Stourbridge em 1663 (p. 107), evento que precipitou a ciência e a tecnologia modernas.

Tales tentou compreender o mundo sem invocar a intervenção de deuses. Como os babilônios, acreditava que o mundo fora um dia feito de água. Para explicar a terra seca, os babilônios acrescentaram a ideia de que Marduk tinha colocado um tapete na superfície da água e amontoado sujeira sobre ele.[4] Tales tinha uma visão semelhante, porém, como disse Benjamin Farrington, "deixou Marduk fora disso". Sim, tudo fora água um dia, mas a Terra formou-se a partir dos oceanos por um processo natural — similar, pensou, ao aluvião que ele tinha observado no delta do Nilo. De fato, ele achou que a água era um princípio comum, subjacente a toda matéria, o mesmo que hoje dizemos em relação a elétrons, prótons e nêutrons, ou aos quarks. A hipótese de a conclusão de Tales ser ou não correta não é tão importante quanto sua maneira de abordar a questão: o mundo não fora feito pelos deuses, mas sim pelo trabalho de forças materiais que interagiam na natureza. Tales trouxe da Babilônia e do Egito as sementes das novas ciências da astronomia e da geometria, ciências que brotariam e cresceriam no solo fértil da Jônia.

Sabe-se muito pouco sobre a vida pessoal de Tales, mas Aristóteles conta, em sua *Política*, uma anedota reveladora:

> [Tales] era repreendido por sua pobreza, que seria uma demonstração de que a filosofia não tinha utilidade. Conta a história que ele sabia, por discernimento próprio [ao interpretar os céus], quando ainda se estava no inverno, que haveria uma grande colheita de olivas no ano seguinte; assim, como tinha um pouco de dinheiro, fez depósitos para garantir o uso de todas as prensas de azeitonas em Quios e em Mileto, que arrendou a baixo preço, já que ninguém concorria com ele. Quando chegou a época da colheita e as prensas foram necessárias todas de uma só vez, ele as alugou pelo preço que quis e fez muito dinheiro. Demonstrou assim ao mundo que filósofos poderiam ficar ricos com facilidade, se o desejassem, mas que sua ambição é de outro tipo.

Tales foi famoso também por sua sabedoria política, tendo tido êxito em convencer os milesianos a resistir à assimilação sob Creso, rei da Lídia, e fracassado ao instar por uma federação de todos os Estados insulares da Jônia para se opor aos lídios.

Anaximandro de Mileto foi amigo e colega de Tales, uma das primeiras pessoas que, pelo que sabemos, fez um experimento. Ao examinar o movimento da sombra projetada por um bastão vertical, ele determinou com exatidão a duração do ano e das estações. Durante eras os homens tinham usado bastões para golpear e espetar uns aos outros. Anaximandro usou um para medir o tempo. Foi a primeira pessoa na Grécia a fazer um relógio de sol, um mapa do mundo conhecido e um globo celestial que mostrava as figuras das constelações. Ele acreditava que o Sol, a Lua e as

estrelas eram feitos de fogo, visto através de orifícios que se moviam, no domo do céu, talvez uma ideia muito mais antiga. Sustentava o notável conceito de que a Terra não se encontrava suspensa nos céus, ou suportada por ele, mas que se mantinha por si mesma no centro do universo; como estava equidistante de todos os lugares da "esfera celestial", não havia uma força que pudesse movê-la.

Argumentava que somos tão impotentes ao nascer que, se os primeiros infantes humanos tivessem chegado ao mundo por si mesmos, teriam morrido de imediato. Anaximandro concluiu daí que os seres humanos provinham de animais cujas crias eram mais autossuficientes ao nascer: propôs que havia origem espontânea de vida na lama e que os primeiros animais tinham sido peixes cobertos de espinhos. Alguns descendentes desses peixes tinham mais tarde abandonado a água e ido para a terra seca, onde evoluíram para outros animais com transmutação de uma forma para outra. Acreditava haver um número infinito de mundos, todos desabitados e todos sujeitos a ciclos de dissolução e regeneração. "Nem ele", como reclamou com pesar Santo Agostinho, "atribuiu, mais do que Tales, a causa de toda essa atividade incessante a uma mente divina."

Por volta de 540 a.C., na ilha de Samos, ascendeu ao poder um tirano chamado Polícrates. Parece que começara como fornecedor de alimentos e depois passara para a pirataria internacional. Foi um patrono generoso das artes, ciências e engenharia. Mas oprimia seu próprio povo; guerreou com seus vizinhos; temia, com toda a razão, sofrer invasões. Assim, cercou sua capital de uma muralha maciça, com cerca de seis quilômetros de extensão, cujas ruínas existem até hoje. Para transportar água de uma fonte distante passando pelas fortificações, ele ordenou a construção de um grande túnel. Com um quilômetro de comprimento, ele atravessa uma montanha. Foram feitas duas perfurações, uma em cada extremidade, e elas se juntaram no meio quase perfeitamente. O projeto levou cerca de quinze anos para ser completado, um legado da engenharia civil da época e uma indicação da extraordinária capacitação técnica dos jônios. Mas existe outro lado, mais sinistro, nesse empreendimento: foi construído em parte por escravos acorrentados, muitos deles capturados pelos navios piratas de Polícrates.

Isso aconteceu no tempo de Teodoro, mestre-engenheiro da época, a quem os gregos creditaram a invenção da chave, da régua, do esquadro de carpinteiro, do nível, do torno, da fundição em bronze e da calefação central. Por que não existem monumentos em homenagem a esse homem? Os que falavam e especulavam sobre as leis da natureza falavam com os tecnólogos e os engenheiros. Com frequência, eram as mesmas pessoas. Teoria e prática eram uma coisa só.

Mais ou menos na mesma época, nas proximidades da ilha de Cós, Hipócrates estava firmando sua famosa tradição na medicina, hoje lembrada apenas no juramento que leva seu nome. Era uma escola de medicina prática e efetiva, que, insistia Hipócrates, teria de se basear no que era na época o equivalente à física e à química.[5] Mas tinha também seu lado teórico. Em seu livro *Sobre a medicina antiga*, ele escreveu: "Os homens pensam que a epilepsia é divina só porque não a compreendem. Mas se chamassem de divino tudo que não compreendem, as coisas divinas não teriam fim".

Com o tempo, a influência jônica e o método experimental espalharam-se para todo o território da Grécia, para a Itália, a Sicília. Houve um tempo em que quase ninguém acreditava em ar. Sabiam

da respiração, é claro, e pensavam que o vento era a expiração dos deuses. Porém a noção do ar como uma substância estática, material, mas invisível, era inimaginável. A primeira experiência com ar registrada foi realizada por um médico[6] chamado Empédocles, que atuou por volta de 450 a.C. Alguns relatos alegam que ele se identificava como um deus. Mas talvez isso apenas significasse que era tão inteligente que os outros pensavam que era um deus. Ele acreditava que a luz viaja muito rápido, mas não numa velocidade infinita. Pensava que tinha havido outrora uma variedade muito maior de coisas vivas na Terra, mas que muitas raças desses seres "devem ter sido incapazes de gerar e continuar seu tipo de vida. Pois no caso de toda espécie que existe, ou força ou coragem ou rapidez desde o início de sua existência a protegeu e preservou". Nessa tentativa de explicar a bela adaptação de organismos a seus meios ambientes, Empédocles, como Anaximandro e Demócrito (veja a seguir), claramente antecipou alguns aspectos da grande ideia de Darwin da evolução por seleção natural.

Empédocles realizou seu experimento com um dispositivo caseiro que as pessoas já usavam havia séculos, a assim chamada *clepsydra*,* ou "ladrão de água", que era utilizada como uma concha de cozinha. Enche-se uma esfera de latão com um gargalo aberto e pequenos orifícios no fundo mergulhando-a na água. Se for puxada para fora com o gargalo descoberto, a água escorre pelos orifícios, formando um pequeno chuveiro. Mas se, ao retirá-la da água, se tapar o gargalo com o polegar, a água fica retida na esfera até se tirar o polegar. Se se tentar enchê-la mergulhando-a com o gargalo tapado, nada acontece. Devia haver alguma substância material no caminho da água. Não podemos *enxergar* essa substância. O que poderia ser? Empédocles alegou que só poderia ser o ar. Algo que não podemos ver pode exercer pressão, pode frustrar meu desejo de encher a esfera se eu for tolo o bastante para deixar meu dedo tapando o gargalo. Empédocles tinha descoberto o invisível. O ar, pensou, devia ser matéria numa forma tão finamente dividida que não podia ser vista.

Conta-se que Empédocles morreu de modo apoteótico saltando do topo da cratera do grande vulcão Etna dentro da lava quente. Mas às vezes imagino que ele simplesmente escorregou durante uma corajosa e pioneira expedição de geofísica observacional.

Esse indício, esse cheiro da existência de átomos, foi levado muito mais adiante por um homem chamado Demócrito, oriundo da colônia jônica de Abdera, no norte da Grécia. Abdera era o tipo de cidade sobre a qual se contam anedotas. Se em 430 a.C. você contasse uma história sobre alguém de Abdera, com certeza provocaria risadas. Ela era, de certo modo, o Brooklyn de sua época. Para Demócrito, tudo na vida se destinava a ser aproveitado e compreendido: compreensão e curtição eram a mesma coisa. Ele disse que "uma vida sem festividades é uma longa estrada sem um albergue". Demócrito podia ter vindo de Abdera, mas não era imbecil. Acreditava que um grande número de mundos tinha se formado espontaneamente de matéria difusa no espaço, evoluiu e depois decaiu. Numa época em que ninguém sabia de crateras de impacto, Demócrito pensava que os mundos às vezes colidem entre si; acreditava que alguns mundos vagavam solitários pela escuridão do espaço, enquanto outros tinham a companhia de vários sóis e várias luas; que alguns mundos eram habitados, enquanto outros não tinham plantas nem animais, nem mesmo água; que as formas mais simples de vida haviam surgido de um tipo de limo primordial. Pensava que a

percepção — o motivo, digamos, de eu pensar que há uma caneta em minha mão — era um processo puramente físico e mecânico; que pensamento e sentimento eram atributos de matéria reunida de um modo bastante acurado e complexo, e não devidos a algum espírito infundido na matéria pelos deuses.

Demócrito inventou a palavra *átomo*, "indivisível" em grego. Átomos eram as partículas finais, que frustrariam eternamente nossas tentativas de parti-las em fragmentos menores. Tudo, disse ele, é uma coleção de átomos, reunidos de maneira intricada. Até mesmo nós. "Nada existe", afirmou, "a não ser átomos e o vazio."

Quando cortamos uma maçã, a faca deve passar por espaços vazios entre os átomos, argumentou Demócrito. Se não houvesse esses espaços vazios, a faca esbarraria em átomos impenetráveis e não conseguiria cortar. Cortada uma fatia de um cone, comparemos as seções de corte das duas peças. As áreas expostas são iguais? Não, diz Demócrito. A inclinação do cone faz com que um dos pedaços tenha uma superfície de corte um pouquinho menor que a do outro. Se as duas áreas fossem exatamente iguais, teríamos um cilindro, não um cone. Não importa quão afiada seja a faca, as duas peças terão seções de corte com áreas desiguais. Por quê? Porque, na escala do muito pequeno, a matéria exibe uma irredutível aspereza. Demócrito identificou essa fina escala de aspereza com o mundo dos átomos. Seus argumentos não eram os que usamos hoje, mas eram sutis e elegantes, derivados da vida cotidiana. E suas conclusões estavam em essência corretas.

Num exercício a isso relacionado, Demócrito imaginou calcular o volume de um cone ou uma pirâmide considerando-os como um número muito grande de placas empilhadas que vão diminuindo de tamanho à medida que se afastam da base em direção ao vértice. Com isso, tinha enunciado um problema que, em matemática, é chamado de teoria dos limites. Ele estava batendo à porta do cálculo diferencial e integral, essa ferramenta fundamental para compreender o mundo que, na medida do que sabemos de registros escritos, não foi descoberta até a época de Isaac Newton. Talvez, se a obra de Demócrito não tivesse sido destruída por completo, no tempo de Cristo já existiria o cálculo.[7]

Thomas Wright ficou maravilhado, em 1750, com o fato de Demócrito ter acreditado que a Via Láctea seria formada sobretudo por estrelas ainda não resolvidas "muito antes de a astronomia colher qualquer benefício do progresso da ciência da óptica; [ele] enxergou, digamos assim, com o olho da razão, indo tão longe no infinito quanto os mais aptos astrônomos, em épocas mais propícias, têm ido desde então". Mais além do leite de Hera, da Espinha Dorsal da Noite, pairava a mente de Demócrito.

Na esfera pessoal, parece que Demócrito era um tanto incomum. Mulheres, crianças e sexo o embaraçavam, em parte porque lhe roubavam o tempo que queria dedicar ao pensamento. Mas ele valorizava a amizade, sustentava que a alegria era o objetivo da vida e dedicava uma importante investigação filosófica à origem e natureza do entusiasmo. Fez uma viagem até Atenas para visitar Sócrates e lá sentiu que era tímido demais para se apresentar a ele. Era amigo chegado de Hipócrates. Ficava deslumbrado com a beleza e a elegância do mundo físico. Para ele a pobreza numa democracia era preferível à riqueza numa tirania. Acreditava que as religiões prevalentes em seu tempo eram malignas e que não existiam nem alma imortal nem deuses imortais: "Nada existe, a

não ser átomos e o vazio”.

Não há registro de que Demócrito tenha sido perseguido por suas opiniões — mas há que lembrar que ele era de Abdera. Contudo, em sua época a breve tradição de tolerância com ideias não convencionais começou a se erodir e despedaçar. Pessoas começaram a ser punidas por terem ideias incomuns. A cédula grega de cem dracmas ostenta hoje uma imagem de Demócrito. Mas seus insights foram suprimidos, sua influência na história foi diminuída. Os místicos começavam a vencer.

Anaxágoras foi um experimentalista jônio que vicejou por volta de 450 a.C. e viveu em Atenas. Era um homem rico, indiferente a sua riqueza, mas apaixonado pela ciência. Ao lhe perguntarem qual era o propósito da vida, respondeu: “A investigação do Sol, da Lua e dos céus”, resposta de um verdadeiro astrônomo. Ele realizou um experimento inteligente no qual demonstrou que uma gota de um líquido branco, como creme, não clareava de maneira perceptível o conteúdo de um grande jarro com um líquido escuro, como vinho. Deve haver, concluiu ele, mudanças dedutíveis através de experimentos que são sutis demais para serem percebidas direto pelos sentidos.

Anaxágoras estava longe de ser tão radical quanto Demócrito. Ambos eram inveterados materialistas, não no sentido de prezarem posses, mas no de considerarem que apenas a matéria era o sustentáculo do mundo. Anaxágoras achava que a mente era feita de uma substância especial e não acreditava na existência de átomos. Pensava que os seres humanos eram mais inteligentes que os outros animais por causa de nossas mãos, ideia muito jônica.

Ele foi a primeira pessoa a declarar claramente que a Lua brilha com luz refletida, e, assim, desenvolveu uma teoria para as fases da Lua. Essa doutrina era tão perigosa que o manuscrito que a descrevia teve de ser repassado em segredo, um *samizdat* ateniense.** Ela não estava de acordo com os preconceitos da época, ao explicar as fases ou os eclipses lunares com a geometria relativa entre a Terra, a Lua e o Sol, que tem luz própria. Aristóteles, que viveu duas gerações mais tarde, contentou-se em alegar que essas coisas aconteciam porque era da natureza da Lua ter fases e eclipses — mero malabarismo verbal, uma explicação que não explica nada.

A crença prevalente era de que o Sol e a Lua eram deuses. Anaxágoras sustentava que o Sol e as estrelas eram pedras ardentes. Não sentíamos o calor das estrelas porque elas estavam distantes demais. Ele achava também que a Lua tinha montanhas (certo) e era habitada (errado). Dizia que o Sol era tão imenso que talvez fosse maior que o Peloponeso, mais ou menos a terça parte da Grécia, no sul do país. Seus críticos achavam essa estimativa exagerada e absurda.

Anaxágoras foi trazido a Atenas por Péricles, seu líder na época de sua maior glória, mas também o homem cujas ações levaram à Guerra do Peloponeso, que destruiu a democracia ateniense. Péricles adorava a filosofia e a ciência, e Anaxágoras era um de seus principais confidentes. Há quem diga que nesse papel Anaxágoras contribuiu de maneira significativa para a grandeza de Atenas. Mas Péricles tinha problemas políticos. Ele era poderoso demais para ser atacado diretamente, assim seus inimigos atacavam quem lhe era próximo. Anaxágoras foi condenado e preso pelo crime religioso da impiedade — por achar que a Lua era feita de matéria ordinária, que ela era um lugar e que o Sol era uma pedra vermelha e quente no céu. O bispo John Wilkins fez um comentário, em 1638, sobre esses atenienses: “Aqueles zelosos idólatras [consideraram] uma grande

blasfêmia fazer de seu Deus uma pedra, conquanto eles, não obstante, fossem tão incoerentes em sua adoração de ídolos, ao fazer de uma pedra seu Deus". Parece que Péricles arquitetou a libertação de Anaxágoras da prisão, mas era tarde demais. A maré estava mudando na Grécia, embora a tradição jônica continuasse no Egito de Alexandria, duzentos anos depois.

Os grandes cientistas de Tales a Demócrito e Anaxágoras costumam ser descritos nos livros de história ou de filosofia como "pré-socráticos", como se sua principal função fosse sustentar a fortaleza filosófica até o advento de Sócrates, Platão e Aristóteles, e talvez influenciá-los um pouco. Na verdade, os antigos jônios representam uma tradição diferente e bastante questionadora, muito mais compatível com a ciência moderna. O fato de sua influência ter sido sentida com tanta força durante apenas dois ou três séculos representa um perda irreparável para todos os seres humanos que viveram entre o Despertar Jônico e a Renascença italiana.

Talvez a pessoa mais influente entre todas associadas a Samos tenha sido Pitágoras, um contemporâneo de Polícrates no século VI a.C.[8] Segundo a tradição local, ele viveu por um tempo numa caverna no monte Kerkis, em Samos, e foi o primeiro na história do mundo a deduzir que a Terra é uma esfera. Talvez tenha alegado isso em analogia com a Lua e o Sol, ou notado a sombra curva da Terra na Lua durante um eclipse lunar, ou percebido que quando um navio deixava Samos e desaparecia no horizonte, seus mastros eram a última parte a desaparecer.

Ele ou seus discípulos descobriram o teorema que leva seu nome: num triângulo retângulo, o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos. Pitágoras não se contentou em acumular exemplos que comprovassem seu teorema; ele desenvolveu um método de dedução matemática para provar isso de maneira genérica. A tradução moderna do argumento matemático, essencial a toda ciência, deve muito a Pitágoras. Foi ele quem primeiro empregou a palavra *cosmos* para denotar um universo bem-ordenado e harmonioso, palavra receptiva a um bom entendimento humano.

Muitos jônios acreditavam que a harmonia subjacente ao universo seria acessível mediante observação e experimentação, métodos que hoje em dia dominam a ciência. No entanto, Pitágoras empregou um método muito diferente. Ele pensou que as leis da natureza poderiam ser deduzidas pelo pensamento puro. Na verdade, ele e seus seguidores não eram experimentadores.[9] Eram matemáticos. E eram místicos contumazes. Segundo Bertrand Russell, numa passagem talvez impiedosa, Pitágoras

> fundou uma religião, da qual as principais premissas eram a transmigração das almas e a pecaminosidade que havia no ato de comer feijões. Sua religião estava encarnada numa ordem religiosa, a qual, aqui e ali, adquiria o controle do Estado e estabelecia um governo dos santos. Mas os não regenerados ansiavam por feijões, e cedo ou tarde se rebelavam.

Os pitagóricos se deliciavam com a segurança que havia na demonstração matemática, o sentido de um mundo puro e imaculado acessível ao intelecto humano, um cosmos no qual os lados de um triângulo retângulo obedeciam rigorosamente a simples relações matemáticas. Era um contraste gritante com a confusa realidade do mundo cotidiano. Eles acreditavam que tinham, com sua matemática, vislumbrado uma realidade perfeita, um reino dos deuses, do qual o mundo que nos é familiar não é mais do que um reflexo imperfeito. Na famosa parábola de Platão sobre a caverna,

imaginavam-se prisioneiros amarrados de modo que viam apenas as sombras projetadas dos passantes e acreditavam que as sombras fossem figuras reais — sem nunca compreender a realidade complexa que seria acessível se eles apenas virassem a cabeça. Os pitagóricos iriam exercer uma forte influência em Platão e, mais tarde, no cristianismo.

Eles não advogavam um livre confronto entre pontos de vista conflitantes. Em vez disso praticavam, como todas as religiões, uma rigidez que os impedia de corrigir seus erros. Cícero escreveu:

> O que está em discussão não é tanto o peso da autoridade como força argumentativa a ser requerida. Na verdade, a autoridade desses que professam o ensino é com frequência um empecilho real aos que desejam aprender; eles param de empregar seu próprio julgamento e tomam o que percebem ser o veredicto de quem escolheram como mestre como a resposta que resolve a questão. De fato, não estou disposto a aprovar a prática tradicionalmente atribuída aos pitagóricos, os quais, quando questionados quanto ao fundamento de qualquer asserção que propuseram ao debate, consta que costumam responder: "Assim disse o Mestre", sendo Pitágoras "o Mestre". Tão poderosa assim era uma opinião já decidida, fazendo a autoridade prevalecer sobre a razão.

Os pitagóricos eram fascinados pelos sólidos regulares, objetos tridimensionais simétricos dos quais todos os lados eram polígonos regulares. O cubo é o exemplo mais simples, com seis quadrados formando seus lados. Existe um número infinito de polígonos regulares, porém apenas cinco sólidos regulares. (A demonstração dessa proposição, exemplo famoso de raciocínio matemático, é apresentada no apêndice 2.) Por alguma razão, eles achavam que o conhecimento de um sólido chamado dodecaedro, cujos lados são doze pentágonos, era perigoso. Tinha uma associação mística com o cosmos. Os outros quatro sólidos regulares eram identificados, de algum modo, com os quatro "elementos" que então se imaginava constituírem o mundo: terra, fogo, ar e água. O quinto sólido deveria então, pensaram eles, corresponder a um quinto elemento, que só poderia ser a substância dos corpos celestes. (Essa noção de quinta essência é a origem da palavra *quintessência*.) Era preciso zelar para que pessoas comuns continuassem a ignorar o dodecaedro.

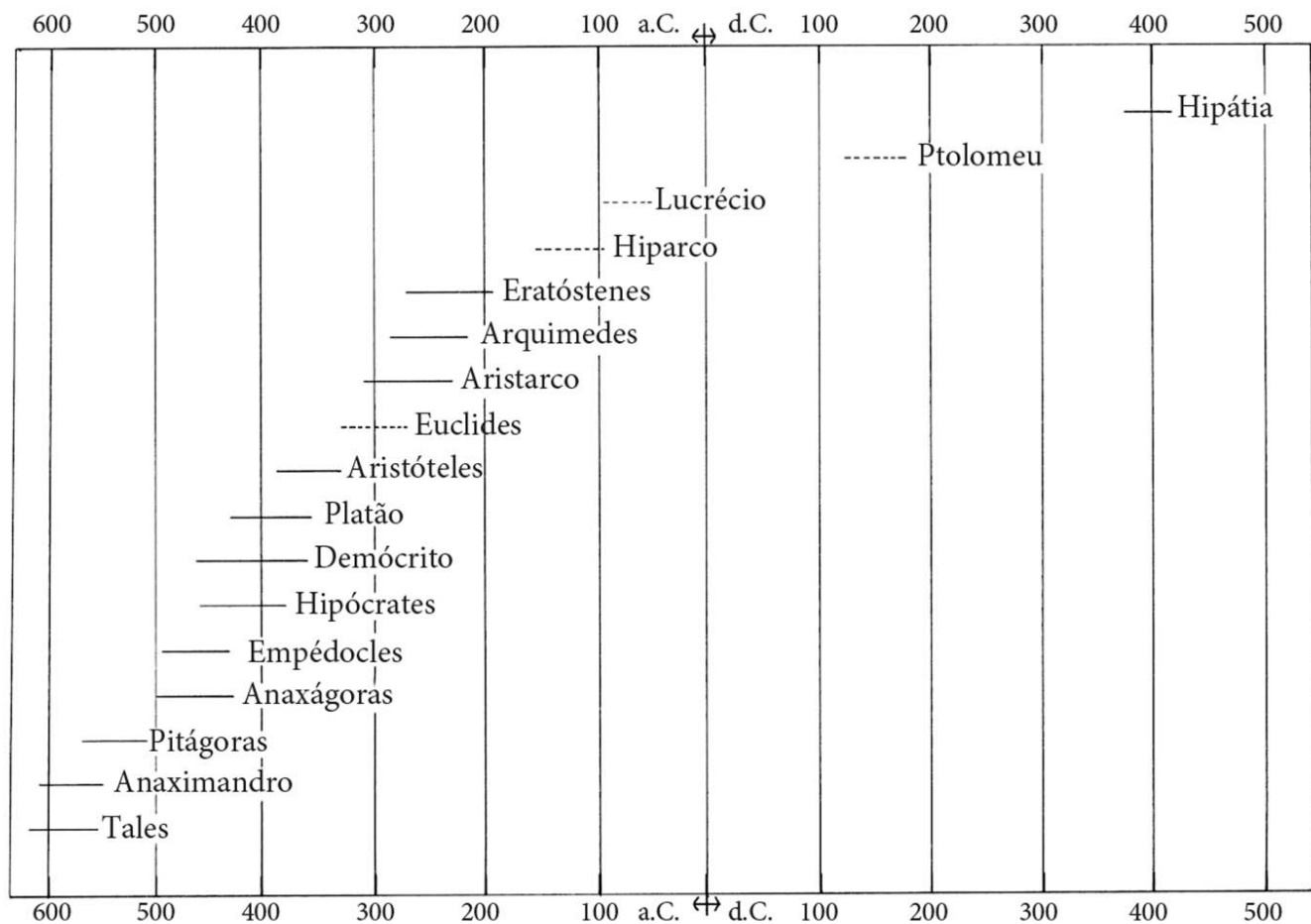
Apaixonados por números inteiros, os pitagóricos acreditavam que todas as coisas podiam derivar deles, com certeza todos os outros números. A crise nessa doutrina surgiu quando descobriram que a raiz quadrada de dois (razão entre a diagonal e um lado de um quadrado) era irracional, que $\sqrt{2}$ não pode ser expresso com exatidão como a razão entre quaisquer números inteiros, não importa quão extensos sejam esses números. Por ironia, essa descoberta (reproduzida no apêndice 1) foi feita tendo como ferramenta o teorema de Pitágoras. "Irracional" significava na origem apenas um número que não podia ser expresso por uma razão. Mas para os pitagóricos isso significava algo ameaçador, um indício de que sua visão do mundo poderia não fazer sentido, o que é hoje o outro significado de "irracional". Em vez de compartilhar essas importantes descobertas matemáticas, eles suprimiram o conhecimento sobre $\sqrt{2}$ e o dodecaedro. O mundo exterior não devia saber.[10] Mesmo hoje em dia há cientistas que se opõem à popularização da ciência: o conhecimento sagrado deve ser mantido no culto, sem a mácula da compreensão do público. Os pitagóricos acreditavam que a esfera era "perfeita", com todos os pontos da superfície à mesma distância do centro; círculos eram perfeitos também. E insistiam que os planetas se moviam em cursos circulares e a velocidades constantes. Pareciam acreditar que um movimento mais lento ou mais rápido em lugares diferentes da órbita seria indecoroso; um movimento não circular seria, de

algum modo, defeituoso, inadequado para os planetas, os quais, estando livres da Terra, também eram considerados “perfeitos”.

Os prós e os contras da tradição pitagórica podem ser vistos claramente na obra realizada em vida por Johannes Kepler (capítulo 3). A noção pitagórica de um mundo perfeito e místico, invisível aos sentidos, foi aceita de imediato pelos primeiros cristãos e um componente integral do treinamento inicial de Kepler. Por um lado, este estava convencido de que as harmonias matemáticas existem na natureza (ele escreveu que “o universo foi estampado com o adorno de proporções harmônicas”); de que simples relações numéricas é que têm de determinar o movimento dos planetas. Por outro lado, de novo seguindo os pitagóricos, ele acreditou por muito tempo que só um movimento circular uniforme seria admissível. Notou seguidamente que os movimentos planetários observados não poderiam ser explicados dessa maneira, e seguidamente tentava mais uma vez. Mas ao contrário de muitos pitagóricos, ele acreditava na observação e na experimentação no mundo real. Mais tarde, as observações detalhadas do movimento aparente dos planetas o obrigaram a abandonar a ideia dos cursos circulares e a constatar que os planetas viajam percorrendo elipses. Kepler inspirou-se em sua busca pela harmonia do movimento planetário e ao mesmo tempo foi atrasado durante mais de uma década pelos atrativos da doutrina pitagórica.

No mundo antigo grassava o desprezo pelo prático. Platão instava os astrônomos a pensar sobre os céus, mas a não perder tempo observando-os. Aristóteles acreditava que

> os de tipo inferior são por natureza escravos, e é melhor para eles assim como para todos os que são inferiores que estejam sob o domínio de um senhor [...]. O escravo participa da vida de seu senhor; o artesão é menos estreitamente ligado a ele, e só ganha excelência na medida em que se torna escravo. O tipo mais medíocre de mecânico tem uma escravidão especial, em separado.

Plutarco escreveu: “Se o trabalho encanta você com sua graça, disso não se segue necessariamente que aquele que o realizou é merecedor de estima”. A opinião de Xenofonte era: “Isso que chamam de artes mecânicas carrega um estigma social e é corretamente desonrado em nossas cidades”. Como resultado dessas atitudes, o brilhante e promissor método experimental jônico foi em grande parte abandonado durante 2 mil anos. Sem experimentação, não há como optar entre hipóteses conflitantes, não há como a ciência avançar. A marca antiempírica dos pitagóricos sobrevive até hoje. Mas por quê? De onde veio essa aversão à experimentação?

Distribuição aproximada das épocas em que viveram cientistas jônios e outros cientistas gregos entre os séculos VII a.C. e V. O declínio da ciência grega é indicado pela relativamente pequena presença de cientistas após o século I a.C.

Uma explicação para o declínio da antiga ciência foi proposta pelo historiador da ciência Benjamin Farrington: a tradição mercantil, que levou à ciência jônica, levou também a uma economia escravista. A propriedade de escravos era o caminho para a riqueza e o poder. As fortificações de Polícrates foram construídas por escravos. Atenas, no tempo de Péricles, Platão e Aristóteles, tinha uma vasta população de escravos. Toda a brava falação ateniense sobre democracia aplicava-se apenas a uns poucos privilegiados. O que caracteriza a atuação de escravos é o trabalho braçal. Porém experimento científico é trabalho braçal, do qual, de preferência, os senhores de escravos devem manter distância; embora apenas os senhores de escravos — cortesmente chamados de gentis-homens, ou cavalheiros, em algumas sociedades — disponham de tempo para fazer ciência. Por conseguinte, quase ninguém fazia ciência. Os jônios estavam perfeitamente aptos a fazer máquinas de certa elegância. Mas a disponibilidade de escravos solapou o incentivo econômico para o desenvolvimento da tecnologia. Assim, a tradição mercantil contribuiu para o grande despertar jônico por volta de 600 a.C., e o escravismo pode ter sido a causa de seu declínio dois séculos mais tarde. Há grandes ironias aqui.

Tendências semelhantes aparecem no mundo inteiro. O ponto mais alto na astronomia autóctone chinesa ocorreu por volta de 1280, com o trabalho de Kuo Shou-ching, que se baseou num fundamento observacional de 1500 anos para aperfeiçoar tanto instrumental astronômico quanto técnicas matemáticas de computação. Há um entendimento generalizado de que a

astronomia chinesa experimentou depois disso um abrupto declínio. Nathan Sivin acredita que a explicação para isso reside, ao menos em parte, “na crescente rigidez de atitude das elites, de modo que os mais instruídos ficaram menos inclinados à curiosidade quanto às técnicas e menos desejosos de valorizar a ciência como uma atividade adequada a um cavalheiro”. A ocupação de astrônomo tornou-se uma atividade hereditária, prática inconsistente com o avanço desse tema. Além disso, “a responsabilidade pela evolução da astronomia permaneceu centrada na Corte Imperial e foi em grande medida relegada a técnicos estrangeiros”, em especial os jesuítas, que tinham apresentado Euclides e Copérnico aos atônitos chineses, mas que, após a censura ao livro deste último, tinham um interesse pessoal em disfarçar e suprimir a cosmologia heliocêntrica. Talvez a ciência tenha sido natimorta nas civilizações indígenas maia e asteca pelo mesmo motivo de ter declinado na Jônia, a obstinação da economia escravista. O maior problema no contemporâneo (político) Terceiro Mundo é que as classes instruídas tendem a ser constituídas pelos filhos dos ricos, com interesse pessoal no status quo, e não estão acostumadas nem a trabalhar usando as mãos nem a desafiar o conhecimento convencional. A ciência tem criado raízes com muita lentidão.

Platão e Aristóteles estavam confortáveis numa sociedade escravista. Eles apresentavam justificativas para a opressão. Serviam a tiranos. Ensinavam a alienação do corpo em relação à mente (ideia bem natural numa sociedade com escravos); separavam a matéria do pensamento; divorciavam a Terra dos céus — divisões que iriam dominar o pensamento ocidental por mais de vinte séculos. Platão, que acreditava que “todas as coisas estão cheias de deuses”, na verdade usava a metáfora da escravidão para associar sua política a sua cosmologia. Dizem que instou a que se queimassem os livros de Demócrito (tinha uma recomendação semelhante para os livros de Homero), talvez porque Demócrito não admitisse almas imortais, ou deuses imortais, ou o misticismo pitagórico, ou porque acreditava que havia um número infinito de mundos. Dos 73 livros que, segundo consta, Demócrito escreveu, cobrindo todo o conhecimento humano, não sobreviveu uma única palavra. Tudo o que conhecemos vem de fragmentos, em especial no campo da ética, e de relatos em segunda mão. Isso também é verdade no que concerne a quase todos os outros antigos cientistas jônios.

No reconhecimento por Pitágoras e Platão de que o cosmos é cognoscível, de que existe um substrato matemático na natureza, há um grande avanço na causa da ciência. Porém, com a supressão de fatos inquietantes, com o conceito de que a ciência deveria ser reservada a uma pequena elite, com a aversão pela experimentação, o abraçar do misticismo e a cordata aceitação de sociedades escravistas, eles fizeram retroceder o empreendimento humano. Após um longo sono místico durante o qual os instrumentos da investigação científica ficaram mofando, a abordagem jônica, em alguns casos transmitida pelos sábios da Biblioteca de Alexandria, foi afinal redescoberta. O mundo ocidental tornou a despertar. A experimentação e a investigação aberta tornaram-se mais uma vez respeitáveis. Livros e fragmentos esquecidos foram lidos de novo. Leonardo da Vinci, Colombo e Copérnico foram inspirados por essa antiga tradição grega ou, de maneira independente, retraçaram partes dela. Em nossa época atual existe muito dessa ciência jônica, mas não na política e na religião, e uma razoável medida de investigação livre. Mas existem também pavorosas superstições e terríveis ambiguidades éticas. Estamos contaminados por antigas

contradições.

O platônicos e seus sucessores cristãos mantiveram a noção peculiar de que a Terra era maculada e de certo modo asquerosa, enquanto os céus eram perfeitos e divinos. A ideia fundamental de que a Terra é um planeta, de que somos cidadãos do universo, foi rejeitada e esquecida. Ela foi aventada pela primeira vez por Aristarco, nascido em Samos três séculos depois de Pitágoras. Aristarco foi um dos últimos cientistas jônios. Em sua época, o centro do esclarecimento intelectual tinha se mudado para a grande Biblioteca de Alexandria. Aristarco foi a primeira pessoa a afirmar que o Sol, e não a Terra, está no centro do sistema planetário, que todos os planetas giram em torno dele, e não da Terra. Como de praxe, seus escritos sobre esse tema se perderam. Do tamanho da sombra da Terra na Lua durante um eclipse lunar, ele deduziu que o Sol tinha de ser muito maior que a Terra e estar muito distante. Pode ter raciocinado então que seria absurdo que um corpo tão grande como o Sol girasse em torno de um corpo pequeno como a Terra. Ele pôs o Sol no centro, fez a Terra girar em torno de seu eixo uma vez por dia e orbitar o Sol uma vez por ano.

Associamos essa mesma ideia ao nome de Copérnico, a quem Galileu descreveu como "restaurador e confirmador", não inventor, da hipótese heliocêntrica.[11] Durante os mais de 1800 anos entre Aristarco e Copérnico ninguém soube qual era a disposição correta dos planetas, mesmo tendo sido apresentada com perfeita clareza por volta de 280 a.C. A ideia foi uma afronta a alguns dos contemporâneos de Aristarco. Como no caso de Anaxágoras, Giordano Bruno e Galileu, houve gritos exigindo que ele fosse condenado por impiedade. Essa resistência a Aristarco e a Copérnico, uma espécie de geocentrismo na vida cotidiana, permanece conosco: ainda falamos sobre o "nascer do Sol" e o "pôr do Sol". Já se passaram 2200 anos desde Aristarco e nossa linguagem continua a fingir que a Terra não gira.

A separação dos planetas entre si — 40 milhões de quilômetros da Terra a Vênus como a distância mais curta, 6 bilhões de quilômetros até Plutão — deixaria atordoados aqueles gregos que se sentiram ultrajados pela alegação de que o Sol podia ser tão grande quanto o Peloponeso. Seria natural pensar no sistema solar como muito mais compacto e localizado. Se eu puser os dedos diante dos olhos e olhá-los primeiro com o olho esquerdo e depois com o direito, eles parecerão se mover em relação a um fundo mais distante. Quanto mais próximos de mim os dedos, maior parecerá a distância que percorrem ao aparentemente se moverem. Consigo estimar a distância entre meus olhos e meu dedo pela magnitude desse movimento aparente, ou paralaxe. Se meus olhos fossem mais afastados um do outro, meus dedos pareceriam se mover a uma distância bem maior. Quanto mais longa essa linha de base — nesse exemplo, a distância entre os dois olhos — a partir da qual fazemos nossas duas observações, maior a paralaxe e melhor podemos medir a distância a objetos remotos. Porém, vivemos sobre uma plataforma em movimento, a Terra, que a cada seis meses progride de uma extremidade a outra de sua órbita, uma distância de 300 milhões de quilômetros. Se olharmos para os mesmos e imóveis objetos celestes com um intervalo de seis meses, seremos capazes de medir distâncias muito grandes. Aristarco suspeitava que as estrelas fossem sóis distantes. Ele colocou o Sol "entre" as estrelas fixas. A ausência de uma paralaxe estelar detectável à medida que a Terra se move sugeriu que as estrelas estavam muito mais longe do que o Sol. Antes da invenção do telescópio, a paralaxe até das estrelas mais próximas era pequena demais

para ser detectada. Foi só no século XIX que a paralaxe de uma estrela foi medida pela primeira vez. Ficou claro então, com fundamentação direta na geometria grega, que as estrelas estão a uma distância de anos-luz.

Há outro modo de medir a distância até as estrelas que os jônios seriam capazes de descobrir, embora, até onde sabemos, não o tenham empregado. Todos sabem que quanto mais distante está um objeto, menor ele parece. Essa proporcionalidade inversa entre tamanho aparente e distância é a base da perspectiva na arte e na fotografia. Quanto mais distantes estivéssemos do Sol, menor e menos brilhante ele pareceria. Quão longe teríamos de estar do Sol para ele ser aparentemente tão pequeno e fraco quanto uma estrela?

Um experimento antigo para responder a essa pergunta foi feito por Christiaan Huygens, muito calcado na tradição jônica. Huygens fez pequenos orifícios numa chapa de latão, ergueu a chapa contra o Sol e se perguntou qual orifício parecia apresentar o mesmo brilho que ele lembrava ter visto na estrela Sirius na noite anterior. Esse orifício tinha com efeito[12] 1/28 000 do tamanho aparente do Sol. Assim Sirius, raciocinou ele, estava 28 mil vezes mais afastada de nós do que o Sol, ou seja, a uma distância de cerca de meio ano-luz. É difícil lembrar quão brilhante é uma estrela muitas horas depois de se ter olhado para ela, mas Huygens lembrou-se muito bem. Se soubesse que Sirius é intrinsecamente mais brilhante que o Sol, ele teria chegado a uma resposta quase correta: Sirius está a uma distância de 8,8 anos-luz. O fato de Aristarco e Huygens terem se utilizado de dados imprecisos e daí derivado respostas imperfeitas tem pouca importância. Eles explicaram seus métodos de maneira tão clara que, se observações melhores estivessem disponíveis, seriam obtidas respostas mais precisas.

Entre as épocas de Aristarco e Huygens o homem respondeu à pergunta que me deixara tão empolgado quando era menino no Brooklyn. O que são as estrelas? A resposta é que as estrelas são sóis poderosos, a uma distância de anos-luz na vastidão do espaço interestelar.

O grande legado de Aristarco é este: nem nós nem nosso planeta desfrutamos de uma posição privilegiada na natureza. Esse conceito tem sido aplicado para cima, em direção às estrelas, e colateralmente, a muitos subconjuntos da família humana, com grande sucesso e invariável oposição. Foi responsável por importantes avanços em astronomia, física, biologia, antropologia, economia e política. Eu me pergunto se sua extrapolação para questões sociais não é o principal motivo das tentativas feitas para suprimi-lo.

O legado de Aristarco tem se estendido para muito além do reino das estrelas. No final do século XVIII, William Herschel, músico e astrônomo do rei Jorge III, da Inglaterra, completou um projeto para mapear os céus estrelados, e pelo visto encontrou um número igual de estrelas em todas as direções, no plano, ou faixa, da Via Láctea; daí, de maneira bem razoável, ele deduziu que estávamos no centro da galáxia.[13] Pouco antes da Primeira Guerra Mundial, Harlow Shapley, do Missouri, concebeu uma técnica para medir as distâncias até os aglomerados globulares, esses encantadores conjuntos esféricos de estrelas que parecem um enxame de abelhas. Shapley havia achado uma *vela-padrão* estelar,*** uma estrela notável devido a sua variabilidade, mas que tinha sempre o mesmo brilho intrínseco médio. Ao comparar o brilho enfraquecido dessas estrelas, quando vistas em aglomerados globulares, com seu brilho real, como determinado por estrelas de

mesmo tipo mais próximas, Shapley conseguiu calcular a distância em que estavam — da mesma maneira que, num campo, podemos estimar a distância em que está uma fonte de luz cujo brilho intrínseco conhecemos a partir do brilho fraco que chega até nós —, o que foi, em essência, o método de Huygens. Shapley descobriu que os aglomerados globulares não estavam centrados numa vizinhança solar, e sim numa região distante da Via Láctea, na direção da constelação de Sagitário, o Arqueiro. Pareceu-lhe ser muito provável que os aglomerados globulares considerados nessa investigação, cerca de uma centena deles, estariam orbitando em torno do — prestando homenagem ao — maciço centro da Via Láctea.

Shapley, em 1915, teve a coragem de propor que o sistema solar estava situado nas margens, e não perto do núcleo, da nossa galáxia. Herschel tinha sido iludido pela copiosa presença de poeira que obscurecia a visão na direção de Sagitário; ele não teria como saber da enorme quantidade de estrelas que havia mais além. Agora está bastante claro que vivemos a cerca de 30 mil anos-luz do núcleo da galáxia, nas margens de um braço da espiral, onde a densidade local de estrelas é mais ou menos baixa. Pode haver quem viva num planeta que orbita uma estrela central em um dos aglomerados globulares de Shapley, ou situada no núcleo da galáxia. Esses seres podem ter pena de nós pelo punhado de estrelas que avistamos a olho nu, pois os céus deles flamejam de tantas estrelas. Perto do centro da Via Láctea, milhões de estrelas brilhantes devem ser visíveis a olho nu, em comparação com nossas irrisórias poucas mil. Nosso Sol ou outros sóis podem se pôr, mas a noite nunca chegará.

Em pleno século XX, astrônomos acreditavam que havia uma só galáxia no cosmos, a Via Láctea — embora no século XVIII Thomas Wright, de Durban, e Immanuel Kant, de Königsberg, tivessem, cada um deles, uma premonição de que primorosas formas luminosas em espiral, vistas por um telescópio, eram outras galáxias. Kant sugeriu de maneira explícita que M31, na constelação de Andrômeda, era outra Via Láctea, composta por um número enorme de estrelas, e propôs chamar esses objetos pela evocativa e instigante expressão “universos-ilha”. Alguns cientistas brincaram com a ideia de que as nebulosas espirais não eram universos-ilha distantes, e sim nuvens próximas de gás interestelar condensado, talvez a caminho de formar sistemas solares. Para testar a distância da nebulosa espiral, era preciso uma classe de estrelas variáveis muito mais brilhantes que pudesse fornecer um novo tipo de vela-padrão. Descobriu-se que essas estrelas, identificadas em M31 por Edwin Hubble em 1924, eram alarmantemente menos brilhantes, o que deixava aparente que M31 estava a uma distância prodigiosa, hoje estimada em pouco mais de 2 milhões de anos-luz. Mas se M31 se encontrava a tal distância, não poderia ser uma nuvem com dimensões apenas interestelares, tinha de ser muito maior — uma galáxia imensa por direito próprio. E as outras, galáxias com luminosidade aparente mais fraca, deviam estar ainda mais distantes, 100 bilhões delas, salpicando a escuridão até as fronteiras do cosmos conhecido.

Desde que o homem existe temos buscado nosso lugar no cosmos. Na infância de nossa espécie (quando nossos antepassados olhavam com certa indolência para os céus), no tempo dos cientistas jônios da Grécia Antiga e em nossa própria época, temos sido atormentados por essa questão: Onde estamos? Quem somos? Descobrimos que vivemos num planeta insignificante de uma estrela

prosaica perdida entre dois braços da espiral nas margens de uma galáxia que faz parte de um aglomerado esparso de galáxias, enfurnado em algum canto esquecido do universo, no qual existem muito mais galáxias do que gente. Essa perspectiva é uma corajosa continuação de nossa queda por construir e testar modelos mentais dos céus; o Sol como uma pedra vermelha e quente, as estrelas como chamas celestiais, a Galáxia como a espinha dorsal da noite.

Desde Aristarco, cada passo em nossa busca nos levou além do palco central do drama cósmico. Não houve ainda muito tempo para assimilar esses novos achados. As descobertas de Shapley e de Hubble foram feitas durante o período de vida de muita gente que ainda está viva. Há quem no íntimo deplore essas grandes descobertas, quem considere cada um desses passos uma degradação, quem no mais recôndito da alma ainda anele por um universo cujo centro, foco e fulcro seja a Terra. Mas se quisermos lidar com o cosmos temos primeiro que compreendê-lo, mesmo que nossas preferências por algum status preferencial não adquirido sejam, nesse processo, frustradas. Compreender onde vivemos é uma precondição essencial para aproveitar nossa vizinhança. Saber como são outros locais próximos também ajuda. Se ansiamos que nosso planeta seja importante, há algo que podemos fazer quanto a isso. Podemos fazer com que ele seja significativo com a coragem de nossas perguntas e a profundidade de nossas respostas.

Embarcamos em nossa viagem cósmica com uma pergunta formulada pela primeira vez na infância de nossa espécie e refeita a cada geração com um espanto nunca diminuído: O que são as estrelas? A exploração faz parte de nossa natureza. Começamos como viajante e ainda somos viajantes. Já nos demoramos bastante nas praias do oceano cósmico. Enfim estamos prontos para zarpar em direção às estrelas.

---

* São também chamados clepsidras mecanismos de medição de tempo por vazão de líquidos. (N. R. T.)

** *Samizdat* era uma prática da extinta União Soviética feita para driblar a censura do governo, difundindo-se ideias por meio de panfletos clandestinos. (N. R. T.)

*** Conceito-chave em astronomia e se refere a objetos astronômicos (estrelas, supernovas, galáxias etc.) que possuem luminosidade intrínseca conhecidas. (N. R. T.)

8. Viagens no espaço e no tempo

Nosso amor pelas estrelas é grande demais para termos medo da noite.

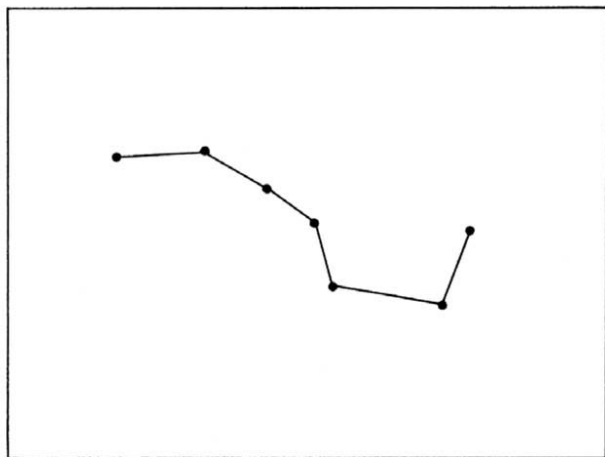
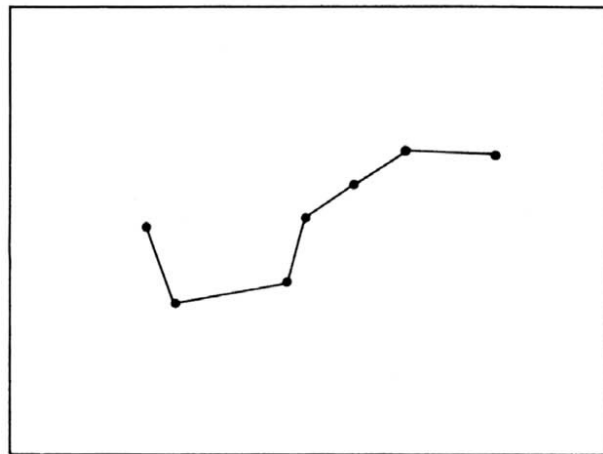
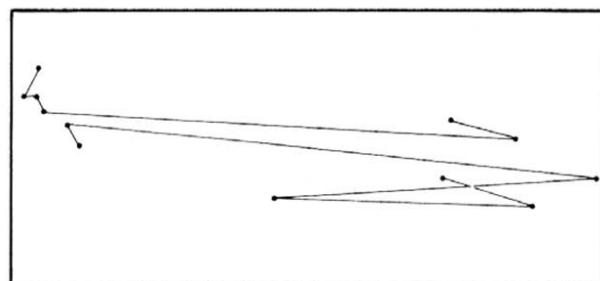
Epitáfio no túmulo de dois astrônomos amadores

O aumento e a diminuição das ondas na arrebentação são produzidos em parte pelas marés. A Lua e o Sol estão muito distantes. Mas sua influência gravitacional é muito real e perceptível aqui na Terra. A praia nos faz lembrar o espaço. Grãos finos de areia, todos de tamanho mais ou menos uniforme, têm sido produzidos a partir de grandes rochas durante eras de pressões e fricções, de abrasão e erosão, causados sem cessar, mediante as ondas e o clima, pelos distantes Sol e Lua. A praia também nos faz lembrar o tempo. O mundo é muito mais antigo que a espécie humana.

Um punhado de areia contém cerca de 10 mil grãos, mais do que o número de estrelas que podemos ver a olho nu numa noite clara. Mas o número de estrelas que podemos ver é uma fração minúscula do número de estrelas que *existem*. O que vemos à noite é uma mera amostra das estrelas mais próximas. Enquanto isso, a riqueza do cosmos é imensurável: o número total de estrelas no universo é maior que o de todos os grãos de areia de todas as praias do planeta Terra.

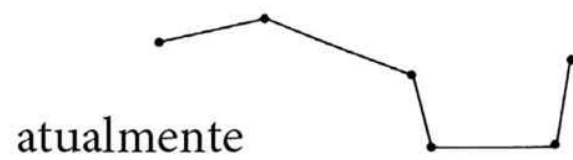
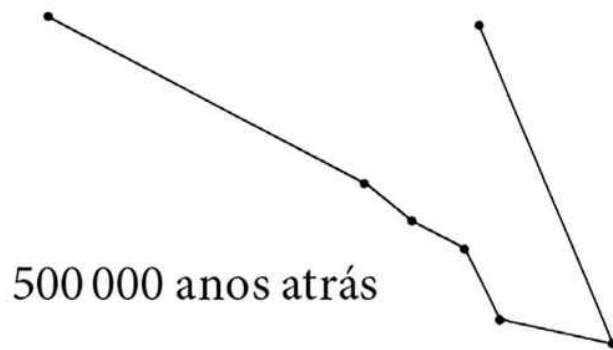
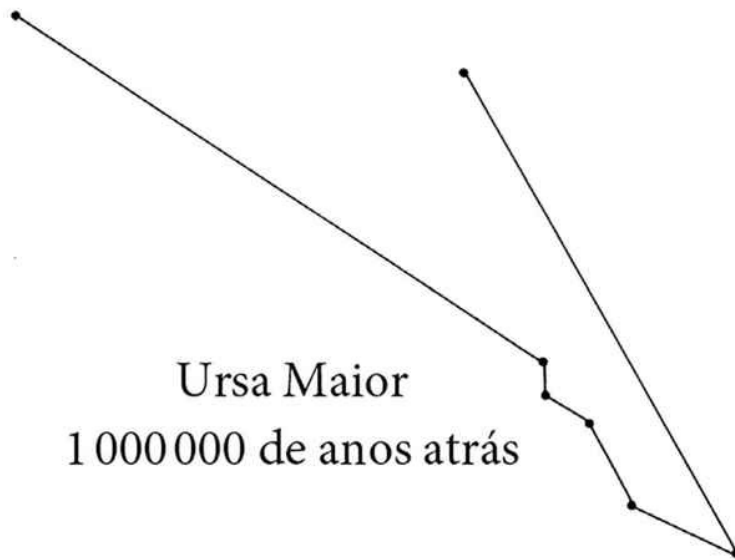
Apesar dos esforços dos antigos astrônomos e astrólogos para enxergar figuras no céu, uma constelação não é mais do que um agrupamento arbitrário de estrelas, composto por estrelas que são intrinsecamente pouco radiosas, mas nos parecem muito brilhantes por estarem mais perto, e por estrelas intrinsecamente mais resplandecentes, que estão mais distantes. Todos os lugares da Terra são equidistantes de determinada estrela, com alto grau de precisão. É por isso que o padrão das estrelas de uma constelação não muda quando vamos, digamos, da Ásia Central russa para o Meio-Oeste americano. Do ponto de vista astronômico, a Rússia e os Estados Unidos são o mesmo lugar. As estrelas em qualquer constelação estão a uma distância tão grande que não as reconhecemos como uma configuração tridimensional enquanto estivermos presos à Terra. A distância média entre as estrelas é de poucos anos-luz, lembrando que um ano-luz corresponde a cerca de 10 trilhões de quilômetros. Para que os padrões que vemos nas constelações mudem, teremos de viajar percorrendo distâncias comparáveis àquelas que separam as estrelas umas das outras; teríamos de atravessar anos-luz. Então, algumas estrelas mais próximas pareceriam estar saindo de uma constelação, outras entrando nela, e sua configuração mudaria de maneira dramática.

Nossa tecnologia é, até agora, incapaz de permitir grandes viagens interestelares, ao menos em tempos de percurso razoáveis. Porém nossos computadores podem aprender as posições tridimensionais de todas as estrelas próximas, e podemos lhes pedir que nos levem numa pequena

viagem virtual — uma circum-navegação, digamos, do conjunto de estrelas brilhantes que constituem a Ursa Maior — e ver como a constelação muda de aspecto. Numa constelação típica, é comum traçarmos seu formato conectando as estrelas pelo método de desenhar unindo os pontos com traços. Se mudássemos de perspectiva, veríamos seus formatos aparentes se distorcerem muito. Os habitantes de planetas de estrelas distantes veriam em seus céus noturnos constelações bem diferentes das que vemos no nosso — outros testes de Rorschach para outras mentes. Talvez em algum momento nos próximos séculos uma espaçonave lançada da Terra de fato atravesse essas distâncias a uma velocidade notável e veja novas constelações, que nenhum humano terá visto antes — exceto no referido computador.

A Ursa Maior, como é vista da Terra, de costas e de lado. As duas últimas configurações seriam vistas se pudéssemos viajar para os pontos de observação mencionados, a cerca de 150 anos-luz de distância.

O aspecto da constelação muda não só em função do espaço, mas também do tempo; não só se mudarmos nosso posicionamento, mas também se esperarmos tempo suficiente. Às vezes estrelas movem-se juntas num grupo, ou aglomerado; outras vezes uma única estrela move-se com muita rapidez em relação a suas companheiras. Mais tarde essas estrelas deixam uma constelação antiga e entram numa nova. De tempos em tempos, uma componente de um sistema de estrelas duplas explode, rompendo as amarras gravitacionais que seguram sua companheira, que então salta no espaço em sua velocidade orbital anterior, um disparo de atiradeira no espaço. Além disso, estrelas nascem, estrelas evoluem, estrelas morrem. Se aguardarmos bastante, novas estrelas aparecem e antigas estrelas desaparecem. Os padrões no céu devagar se dissolvem e se alteram.

Mesmo no período de existência da espécie humana — uns poucos milhões de anos —, constelações têm mudado de aspecto. Considere a atual configuração da Ursa Maior. Nosso computador pode nos transportar no tempo, assim como no espaço. Quando fazemos a Ursa Maior retroceder ao passado, simulando a movimentação de suas estrelas, deparamos com um aspecto muito diferente 1 milhão de anos atrás. Ela, então, se parecia um pouco com uma lança. Se uma máquina do tempo o deixasse numa época desconhecida do passado distante, você poderia, em princípio, determinar qual era essa época pela configuração das estrelas: se a Grande Ursa tiver o aspecto de uma lança, deve ter sido no Pleistoceno Médio.

Podemos pedir ao computador que também faça uma constelação avançar no tempo. Imagine a constelação de Leo, o Leão. O zodíaco é uma faixa de doze constelações que parecem envolver o céu no aparente percurso anual do Sol pelo firmamento. A raiz da palavra é a mesma de *zoo*, porque as constelações do zodíaco, como Leão, são em geral imaginadas como figuras de animais. Dentro de 1 milhão de anos, Leão se parecerá ainda menos com um leão do que se parece hoje. Talvez nossos descendentes no futuro longínquo a chamem de constelação do radiotelescópio — embora eu suspeite que dentro de 1 milhão de anos o radiotelescópio terá se tornado mais obsoleto do que a lança de pedra lascada é hoje.

Imagens da Ursa Maior, geradas por computador, de como ela deve ter sido vista da Terra há 1 milhão de anos e há meio milhão de anos. Sua configuração atual é mostrada embaixo.

A (não zodiacal) constelação de Órion, o caçador, é delineada por quatro estrelas brilhantes e bisseccionada por uma linha diagonal formada por três estrelas, que representam o cinturão do caçador. Três estrelas mais fracas pendentes do cinturão são, segundo o teste projetivo astronômico convencional, a espada de Órion. A estrela do meio na espada não é na verdade uma estrela, mas uma nuvem de gás chamada nebulosa de Órion, na qual estrelas estão nascendo. Muitas das estrelas de Órion são quentes e jovens, que evoluem com velocidade e terminam sua vida em colossais explosões cósmicas chamadas supernovas. Nascem e morrem em períodos de dezenas de milhões de anos. Se, em nosso computador, levássemos Órion rapidamente a seu futuro distante, veríamos um efeito espantoso, os nascimentos e mortes espetaculares de muitas de suas estrelas, lampejando e piscando como vaga-lumes na noite.

A vizinhança solar, as imediações do Sol no espaço, inclui o sistema estelar mais próximo, o de Alfa de Centauro. Na verdade trata-se de um sistema triplo, duas estrelas que giram uma em torno da outra, e uma terceira, a Proxima Centauri, que orbita esse par a uma distância discreta. Em algumas posições de sua órbita, Proxima é a estrela conhecida mais próxima do Sol — daí seu nome. A maior parte das estrelas no céu pertence a sistemas estelares duplos ou múltiplos. Nosso solitário Sol é na verdade uma anomalia.

A segunda estrela mais brilhante na constelação de Andrômeda, chamada Beta Andromedae, está a uma distância de 75 anos-luz. A luz que dela vemos hoje passou 75 anos atravessando o espaço interestelar em sua longa jornada até a Terra. Na improvável eventualidade de Beta Andromedae ter explodido na terça-feira passada, não saberíamos disso por 75 anos, pois essa interessante informação, viajando à velocidade da luz, levaria 75 anos para cruzar as enormes distâncias interestelares. Quando a luz com que hoje vemos essa estrela começou sua longa viagem, Albert Einstein, trabalhando como funcionário suíço no departamento de patentes, tinha acabado de publicar aqui na Terra sua histórica teoria especial da relatividade.

Espaço e tempo estão entrelaçados. Não se pode olhar para o espaço sem estar olhando atrás no tempo. A luz viaja muito rápido. Mas o espaço é muito vazio e as estrelas estão bastante afastadas umas das outras. Distâncias de 75 anos-luz, ou menos, são muito pequenas comparadas com outras distâncias na astronomia. Do Sol até o centro da Via Láctea são 30 mil anos-luz. De nossa galáxia até a galáxia em espiral mais próxima, M31, também na constelação de Andrômeda, são 2 milhões de anos-luz. Quando a luz de M31 que vemos hoje partiu para a Terra não havia seres humanos em nosso planeta, embora nossos ancestrais tenham evoluído com rapidez até assumir sua forma atual. A distância da Terra até os quasares mais distantes é de 8 bilhões a 10 bilhões de anos-luz. Nós os vemos hoje como eram antes de a Terra ter se agregado, antes de a Via Láctea ter se formado.

Essa não é uma situação que se restringe a objetos astronômicos, mas apenas objetos astronômicos estão a uma distância na qual a velocidade finita da luz se torna importante. Se você olhar para uma amiga que esteja no outro lado do quarto, a três metros de distância, você não a estará vendo como ela é ou está “agora”, e sim como “era” ou “estava” há cerca de um centésimo milionésimo de segundo [$(3\ \text{m})/(3 \times 10^{8}\ \text{m/s}) = 1/(10^{8}/\text{s}) = 10^{-8}$ s, ou um centésimo de um microssegundo; nesse cálculo simplesmente dividimos a distância pela velocidade da luz para conhecer o tempo do percurso]. Mas a diferença entre nossa amiga “agora” e há um centésimo

milionésimo de segundo é muito pequena para ser percebida. Por outro lado, quando olhamos para um quasar a 8 bilhões de anos-luz de distância, o fato de o estarmos vendo como era 8 bilhões de anos atrás pode ser muito importante. (Por exemplo, há quem pense que quasares são eventos de explosão que talvez só tenham ocorrido na história primeva das galáxias. Nesse caso, quanto mais distante a galáxia, mais a estaremos vendo como era no início de sua história, e é mais provável que a vejamos como um quasar. De fato, o número de quasares vai aumentando à medida que olhamos para distâncias maiores que 5 bilhões de anos-luz.)

As duas espaçonaves interestelares *Voyager*, as máquinas mais velozes já lançadas da Terra, estão viajando agora a um décimo milésimo da velocidade da luz. Precisariam de 40 mil anos para percorrer a distância até a estrela mais próxima. Podemos alimentar qualquer esperança de deixar a Terra e atravessar as imensas distâncias, mesmo até Proxima Centauri, em períodos de tempo convenientes? Podemos fazer algo que nos aproxime da velocidade da luz? O que existe de mágico na velocidade da luz? Seremos um dia capazes de ir mais rápido do que isso?

Se você tivesse passeado pelos aprazíveis campos da Toscana na década de 1890, talvez encontrasse na estrada para Pavia um adolescente com cabelos um tanto compridos que tinha abandonado o colégio. Seus professores na Alemanha lhe tinham dito que ele nunca chegaria a ser nada, que suas perguntas tinham acabado com a disciplina em sala de aula, que seria melhor ele deixar a escola. Assim, ele a deixou e foi perambular, usufruindo sua liberdade no norte da Itália, onde podia ruminar questões muito distantes daquelas que lhe tinham sido impostas em sua classe altamente disciplinada na Prússia. Seu nome era Albert Einstein, e suas ruminações mudaram o mundo.

Einstein tinha ficado fascinado pelo *Livro popular de ciências naturais*, de Bernstein, obra de divulgação científica que descrevia logo na primeira página a espantosa velocidade da eletricidade atravessando fios e da luz atravessando o espaço. Ele se perguntava com que se pareceria o mundo se se conseguisse viajar numa onda luminosa. Viajar à velocidade da luz? Que pensamento envolvente e mágico para um menino na estrada num campo salpicado e ondulante da luz do sol. Você não sentiria estar numa onda luminosa se viajasse com ela. Se começasse na crista da onda, continuaria na crista e perderia toda noção de estar numa onda. Algo estranho acontece quando se está na velocidade da luz. Quanto mais Einstein pensava nessas questões, mais perturbadoras elas se tornavam. À velocidade da luz paradoxos pareciam surgir por toda parte. Certas ideias haviam sido aceitas como verdadeiras sem terem sido ponderadas com suficiente cuidado. Einstein apresentou perguntas simples que poderiam ter sido feitas séculos antes. Por exemplo, o que queremos dizer quando afirmamos que dois eventos são simultâneos?

Imagine que estou indo de bicicleta em sua direção. Quando me aproximo de um cruzamento quase vou de encontro, assim me parece, a uma carroça puxada por um cavalo. Eu me desvio e evito por pouco ser atropelado. Agora pense de novo nesse evento e imagine que a carroça e a bicicleta estão viajando, ambas, perto da velocidade da luz. Você está no meio da rua e a carroça viaja fazendo um ângulo reto com sua linha de visão. Você me vê, na luz refletida do sol, andando de bicicleta em sua direção. Minha velocidade não se somaria à velocidade da luz, fazendo com que minha imagem chegasse a você muito antes da imagem da carroça? Você não me veria desviar antes

de ver a carroça chegar? Será que a carroça e eu podemos chegar ao mesmo tempo no ponto de interseção a partir de meu ponto de vista, mas não a partir do seu? Poderia acontecer de eu me desviar de uma colisão iminente enquanto você talvez me visse desviando do nada e a continuar pedalando alegremente para a cidade de Da Vinci? São perguntas curiosas e sutis. Desafiam o óbvio. Há uma razão para ninguém ter pensado nelas antes de Einstein. Dessas perguntas tão elementares, ele produziu um fundamental repensar do mundo, uma revolução na física.

Se é para se compreender o mundo, se é para evitar esses paradoxos lógicos quando se viaja a altas velocidades, deve haver algumas regras, mandamentos da natureza que devem ser obedecidos. Einstein codificou essas regras na teoria especial da relatividade. A luz (refletida ou emitida) de um objeto viaja à mesma velocidade, esteja o objeto em movimento ou estacionário: *Não somarás tua velocidade à velocidade da luz.* Além disso, nenhum objeto material deve se locomover mais rápido que a luz: *Não viajarás à, ou além da, velocidade da luz.* Nada na física impede que você viaje tão próximo quanto queira da velocidade da luz; poderia chegar até a 99,9% da velocidade da luz. Porém, por mais que se esforce, nunca conseguirá conquistar esse último ponto decimal. Para que o mundo seja consistente em termos lógicos, tem de haver um limite de velocidade cósmica. Não fosse assim, seria possível chegar a qualquer velocidade que se quisesse somando velocidades numa plataforma em movimento.

Por volta da virada do século XIX para o XX, os europeus em geral acreditavam que havia referenciais privilegiados: que a cultura e a organização política alemãs, ou francesas, ou britânicas eram melhores que as de outros povos; que os europeus eram superiores a outros povos que tinham a sorte de ser colonizados. A aplicação social e política das ideias de Aristarco e Copérnico era rejeitada ou ignorada. O jovem Einstein rebelou-se contra a noção de sistemas de referência privilegiados, tanto na física quanto na política. Num universo repleto de estrelas disparando em todas as direções, não havia lugar que estivesse “em repouso”, nenhum ponto de vista para observar o universo que fosse superior a qualquer outro. Esse é o significado da palavra *relatividade*. A ideia é muito simples, não obstante suas armadilhas mágicas: para observar o universo, um lugar é tão bom quanto outro qualquer. As leis da natureza têm de ser idênticas, não importa quem as esteja descrevendo. Se isso for verdade — e seria surpreendente que houvesse qualquer coisa de especial em nossa insignificante localização no cosmos —, segue-se então que nada deve poder viajar mais rápido que a luz.

Ouvimos o estalo de um chicote porque sua ponta está se deslocando a uma velocidade maior que a do som, criando uma onda de choque, um pequeno bum sônico. O estrondo de um trovão tem origem similar. Já se pensou uma vez que aeronaves não poderiam viajar mais rápido do que o som. O voo supersônico hoje é comum. Mas a barreira da luz é diferente da barreira do som. Não se trata só de um problema de engenharia como aquele que foi resolvido pelos aviões supersônicos. É uma lei da natureza, tão básica quanto a da gravidade. E não há fenômenos que tenhamos experimentado — como o estalo do chicote ou o estrondo do trovão — que sugiram a possibilidade de se viajar no vácuo mais rápido que a luz. Pelo contrário, há uma ampla série de experiências — com aceleradores de partículas e relógios atômicos, por exemplo — que demonstra uma exata concordância quantitativa com a relatividade especial.

O problema da simultaneidade não se aplica ao som como se aplica à luz porque o som é propagado num meio material, em geral o ar. A onda sonora que chega a você quando um amigo lhe fala é a movimentação das moléculas no ar. A luz, contudo, viaja no vácuo. Há restrições quanto a como as moléculas podem se movimentar no ar que não se aplicam ao vácuo. A luz do Sol chega até nós atravessando um espaço intervalar vazio, e não importa quanta atenção prestemos, não ouvimos os estalos das manchas solares ou o estrondo das erupções solares. Já se pensou outrora, na época anterior à relatividade, que a luz se propagava num meio especial que preenchia todo o espaço, chamado "o éter luminífero". Porém o famoso experimento de Michelson-Morley demonstrou que esse éter não existe.

Às vezes ouvimos falar de coisas que são capazes de viajar mais rápido que a luz. Vez ou outra menciona-se algo como a "rapidez do pensamento". É uma noção bastante tola — sobretudo desde que sabemos que a velocidade dos impulsos nos neurônios em nosso cérebro é mais ou menos a mesma de uma carroça puxada a burro. O fato de os seres humanos terem sido inteligentes o bastante para conceber a relatividade demonstra que pensamos bem, mas não creio que possamos nos gabar de pensar rápido. Os impulsos elétricos nos computadores modernos, sim, viajam quase à velocidade da luz.

A teoria especial da relatividade, formulada por Einstein quando ele tinha vinte e tantos anos, foi confirmada por cada experimento realizado para testá-la. Pode ser que amanhã alguém invente uma teoria consistente com todas as outras coisas que, sabemos, envolvem paradoxos em questões como a da simultaneidade, evitando contextos de referência privilegiados e permitindo que se viaje mais rápido que a luz. Mas duvido muito que isso aconteça. A negação por Einstein da possibilidade de se viajar mais rápido que a luz pode se chocar com nosso bom senso. Porém, nessa questão, por que confiar no bom senso? Por que nossa experiência a dez quilômetros por hora deveria contrariar a lei da natureza a 300 mil quilômetros por segundo? A relatividade impõe limites ao máximo que o homem pode fazer. Mas o universo não é obrigado a estar em perfeita harmonia com a ambição humana. A relatividade especial tira de nosso alcance um meio de chegar às estrelas, a nave que poderia viajar mais rápido que a luz. De maneira irresistível, ela sugere outro, e muito inesperado, método.

Acompanhando George Gamow, imaginemos um lugar onde a velocidade da luz não tem sua medida real de 300 mil quilômetros por segundo, e sim algo muito mais modesto: quarenta quilômetros por hora, digamos — e restrito a isso. (Não há penalidades para a infração de leis da natureza, porque não seriam crimes. A natureza se autorregula e arranja as coisas de forma que suas proibições sejam impossíveis de transgredir.) Imagine que você está se aproximando da velocidade da luz em sua lambreta. (A relatividade é rica em frases que começam com "Imagine...". Einstein chamava esse exercício de *Gedankenexperiment*, um experimento via pensamento.) À medida que sua velocidade aumenta, você começa a ver o outro lado dos objetos que passam pela sua visão. Mesmo você mantendo o olhar fixo para a frente, coisas que ficaram na sua retaguarda aparecem em seu campo de visão dianteiro. Quase na velocidade da luz, de seu ponto de vista, o mundo parece ser muito estranho — por fim tudo se comprime numa pequena janela circular, bem na sua frente. Do ponto de vista de um observador estacionário, a luz refletida de você é avermelhada quando você

vai e azulada quando você volta. Se você viajar na direção do observador quase à velocidade da luz, ficará envolto numa misteriosa radiância cromática: sua emissão, em geral invisível, de luz infravermelha mudará para comprimentos de onda mais curtos e visíveis. Você fica comprimido na direção do movimento, sua massa aumenta e o tempo, como vivenciado por você, passa mais devagar, consquência de tirar o fôlego do fato de estar viajando perto da velocidade da luz, chamada "dilatação do tempo". Mas do ponto de vista de um observador que se movimenta junto com você — talvez a lambreta tenha um selim para o carona —, nenhum desses efeitos acontece.

Essas previsões peculiares e de início espantosas da relatividade especial são verdadeiras, no sentido mais profundo de que qualquer coisa da ciência possa ser considerada verdadeira. Elas dependem do movimento relativo. Mas são reais, não ilusões de óptica. Podem ser demonstradas por matemática simples, sobretudo por álgebra de primeiro ano, e portanto compreensível para qualquer pessoa instruída. São também consistentes com muitos experimentos. Relógios muito precisos transportados em aeronaves atrasam um pouco em comparação com relógios estacionários. Aceleradores nucleares são projetados para permitir aumentos de massa quando a velocidade aumenta; se não fossem projetados desse modo, as partículas aceleradas colidiriam com as paredes do aparelho e pouco haveria a fazer em relação à física nuclear experimental. Velocidade é distância dividida por tempo. Uma vez que quando se chega à velocidade da luz não podemos simplesmente aumentar a velocidade, como costumamos fazer no mundo cotidiano e prosaico, as noções familiares de espaço absoluto e tempo absoluto — independentemente de seu movimento *relativo* — devem ser abandonadas. É por isso que você encolhe. Essa é a razão da dilatação do tempo.

Viajando perto da velocidade da luz você quase não envelheceria, mas seus amigos e familiares em casa continuariam a envelhecer no ritmo normal. Quando você voltasse de sua jornada relativística, quanta diferença haveria entre seus amigos e você, tendo eles envelhecido décadas, digamos, e você quase não tendo envelhecido nada! Viajar perto da velocidade da luz é uma espécie de elixir da vida eterna. Como o tempo passa mais devagar perto da velocidade da luz, a relatividade especial nos provê um meio de chegar às estrelas. Mas seria possível, em termos de engenharia prática, viajar perto da velocidade da luz? Uma nave estelar é factível?

A Toscana não foi apenas o caldeirão em que ferveram os pensamentos do jovem Albert Einstein; foi também o lar de outro grande gênio, que viveu quatrocentos anos antes, Leonardo da Vinci, que curtia subir as montanhas e contemplar o solo de grandes alturas, como se estivesse pairando como um pássaro. Ele desenhou as primeiras perspectivas aéreas de paisagens, cidades e fortificações. Entre seus muitos interesses e atividades — em pintura, escultura, anatomia, geologia, história natural, engenharia civil e militar —, ele nutria uma grande paixão: conceber e fabricar uma máquina que fosse capaz de voar. Fez desenhos, construiu modelos, montou protótipos em tamanho real — e nenhum deles funcionou. Não havia então um motor que fosse potente e leve o suficiente. Os projetos, no entanto, eram brilhantes e incentivaram os engenheiros de tempos futuros. O próprio Da Vinci ficava deprimido com esses fracassos. Mas não era culpa sua. Ele estava preso ao século XV.

Caso similar aconteceu em 1939, quando um grupo de engenheiros que chamaram a si mesmos

de Sociedade Interplanetária Britânica projetou uma nave que levaria pessoas à Lua — utilizando tecnologia de 1939. Tal projeto não era de forma alguma idêntico ao da espaçonave *Apollo*, que realizou essa mesma missão três décadas depois, mas sugeriu que uma viagem à Lua poderia um dia ser uma possibilidade prática de engenharia.

Hoje existem projetos preliminares de naves que levarão pessoas até as estrelas. Não se imagina que nenhuma dessas espaçonaves seja lançada direto da Terra. Em vez disso, seriam construídas em órbita da Terra, de onde seriam lançadas para suas longas jornadas interestelares. Uma delas recebeu o nome de Projeto *Orion*, em alusão a essa constelação, lembrete de que o objetivo final da nave são as estrelas. A *Orion* foi projetada para utilizar explosões de bombas de hidrogênio, armas nucleares, de encontro a uma placa inercial, cada explosão provocando uma espécie de pipocar de motor de popa, um imenso barco a motor nuclear no espaço. A *Orion* parece ser exequível do ponto de vista prático da engenharia. Por sua própria natureza, teria produzido grande quantidade de detritos radioativos, porém, amenizando a imagem da consciência da missão, apenas no vazio do espaço interplanetário ou interestelar. A *Orion* estava sendo desenvolvida nos Estados Unidos até a assinatura do tratado internacional que proíbe a detonação de armas nucleares no espaço. Isso me parece uma grande pena. A nave estelar *Orion* seria o melhor uso de armas nucleares que posso imaginar.

A nave *Daedalus* é um projeto recente da Sociedade Interplanetária Britânica. Presume a existência de um reator de fusão nuclear — muito mais seguro e eficiente do que as instalações existentes de fissão nuclear. Reatores de fusão ainda não estão disponíveis, mas espera-se que estejam em poucas décadas. A *Orion* e a *Daedalus* seriam capazes de viajar a 10% da velocidade da luz. Uma viagem até Alfa de Centauro, a 4,3 anos-luz de distância, levaria então 43 anos, tempo menor que o de uma vida humana. Essas naves não poderiam viajar a uma velocidade próxima à da luz de tal modo que a dilação do tempo especial relativístico se tornasse importante. Mesmo com projeções otimistas para o desenvolvimento de nossa tecnologia, não parece provável que a *Orion*, a *Daedalus* ou naves semelhantes a elas sejam construídas antes de meados do século XXI, embora, se quiséssemos, poderíamos construir a *Orion* agora.

Para viagens além das estrelas mais próximas, seria preciso fazer uma coisa diferente. Talvez a *Orion* e a *Daedalus* pudessem ser utilizadas como naves de multigerações, de modo que as que chegassem num planeta ou estrela seriam as descendentes distantes das que tinham sido lançadas alguns séculos antes. Ou talvez se descubra um método seguro de hibernação para seres humanos, de modo que os viajantes no espaço fossem congelados e acordados séculos depois. Essas naves estelares não relativísticas, caríssimas como teriam de ser, parecem ser mais ou menos fáceis de projetar, construir e usar em comparação com naves estelares que viajem numa velocidade próxima à da luz. Outros sistemas estelares seriam acessíveis à espécie humana, porém só após um grande esforço.

Um rápido voo espacial interestelar — com velocidade próxima à da luz — é um objetivo não para daqui a cem anos, mas para daqui a mil ou 10 mil anos. Mas em princípio é possível. Um tipo de motor de reação a jato proposto por R. W. Bussard recolhe com uma concha matéria difusa, sobretudo átomos de hidrogênio que flutuam entre as estrelas, acelera-os para um motor de fusão e

os expele por trás. O hidrogênio seria usado tanto como combustível quanto como massa para a reação. Mas no espaço profundo só há cerca de um átomo em cada dez centímetros cúbicos, volume aproximado de uma uva grande. Para que o motor a reação funcione, ele precisa de uma concha dianteira com centenas de quilômetros de diâmetro. Quando a nave atingir velocidades relativísticas, os átomos de hidrogênio estarão se movendo em relação à nave numa velocidade próxima à da luz. Se não forem tomadas precauções adequadas, a nave e seus passageiros serão fritos por esses raios cósmicos induzidos. Uma solução proposta seria usar um laser para arrancar os elétrons dos átomos interestelares e assim torná-los eletricamente carregados enquanto ainda estão a alguma distância, e um campo magnético fortíssimo para defletir os átomos carregados para dentro da concha e para longe do resto da espaçonave. Isso é engenharia numa escala até agora sem precedentes na Terra. Estamos falando de motores do tamanho de pequenos mundos.

Mas dediquemos um momento para pensar numa nave dessas. A Terra nos atrai gravitacionalmente com certa força, a qual, se estamos caindo, experimentamos na forma de aceleração. Se cairmos de uma árvore — e muitos de nossos antepassados proto-humanos devem ter tido essa experiência —, mergulharemos cada vez mais rápido, aumentando nossa velocidade de queda em dez metros por segundo, a cada segundo. Essa aceleração, que caracteriza a força de gravidade que nos mantém presos à superfície terrestre, é chamada de 1 g, sendo g “gravidade da Terra”. Ficamos confortáveis com a aceleração de 1 g; estamos acostumados com 1 g. Se vivêssemos numa nave espacial interestelar que tivesse uma aceleração de 1 g estaríamos num ambiente perfeitamente natural. De fato, a equivalência entre as forças gravitacionais e as forças que sentiríamos agir sobre nós numa espaçonave em aceleração é um aspecto importante da posterior teoria geral da relatividade, de Einstein. Com uma aceleração contínua de 1 g, após um ano no espaço estaríamos viajando muito perto da velocidade da luz [$(0{,}01\ km/s^2) \times (3 \times 10^7\ s) = 3 \times 10^5$ km/s].

Suponha que essa espaçonave tenha uma aceleração de 1 g, chegando cada vez mais perto da velocidade da luz até o ponto mediano da jornada; e então ela comece a desacelerar a 1 g até chegar a seu destino. Na maior parte da viagem a velocidade estaria próxima à velocidade da luz e o tempo passaria muitíssimo mais devagar. Um objetivo próximo para uma missão, um sol que pode ter planetas, seria a estrela de Barnard, a cerca de seis anos-luz de distância. Ela poderia ser atingida em cerca de oito anos, na contagem dos relógios a bordo da nave; o centro da Via Láctea poderia ser atingido em 21 anos; M31, a galáxia de Andrômeda, em 28. Claro, as pessoas deixadas na Terra veriam as coisas de modo diferente. Em vez dos 21 anos a bordo na nave até o centro da Galáxia, para elas se passariam 30 mil anos. Ao chegarmos em casa de nossa viagem espacial, poucos de nossos amigos estariam lá para nos cumprimentar. Em princípio, uma viagem dessas, levando a vírgula dos decimais ainda mais para perto da velocidade da luz, permitiria que circum-navegássemos todo o universo conhecido em cerca de 56 anos, tempo medido a bordo. Regressaríamos num futuro terreno de dezenas de bilhões de anos — para encontrar as cinzas de uma Terra carbonizada e o Sol, morto. Voos espaciais relativísticos tornariam o universo acessível a civilizações avançadas, mas só para os que fizessem a jornada. Ao que tudo indica, não há como a informação obtida viajar de volta, para os que ficaram, a uma velocidade maior que a da luz.

Os projetos para a *Orion*, a *Daedalus* e o motor a reação de Bussard talvez estejam mais distantes da espaçonave interestelar que um dia vamos construir do que os modelos de Leonardo da Vinci estavam dos atuais transportes supersônicos. Mas se não nos autodestruirmos, creio que um dia nos arriscaremos a buscar as estrelas. Quando nosso sistema solar tiver sido todo explorado, os planetas de outras estrelas nos estarão acenando.

O espaço a viajar e o tempo de viagem estão conectados. Só poderemos viajar com rapidez no espaço se viajarmos com rapidez para o futuro. E quanto ao passado? Poderíamos retornar ao passado e mudá-lo? Poderíamos fazer com que os fatos acontecessem de maneira diferente do que afirmam os livros de história? Viajamos devagar para o futuro o tempo todo, ao ritmo de um dia por dia. Com o voo espacial relativístico poderíamos viajar rápido para o futuro. Mas muitos físicos acreditam que uma viagem para o passado é impossível. Mesmo que você tivesse um dispositivo que pudesse viajar para trás no tempo, não seria capaz de fazer nada que mudasse alguma coisa. Se viajasse ao passado e impedisse que seus pais se conhecessem, você não teria nascido — o que é um tanto contraditório, já que é claro que você existe. Assim como a demonstração da irracionalidade de $\sqrt{2}$, assim como a discussão sobre a simultaneidade na relatividade especial, esse é um argumento no qual a premissa está em xeque porque a conclusão é absurda.

Porém outros físicos propõem que duas histórias alternativas, duas realidades igualmente válidas podem existir lado a lado — aquela que você conhece e aquela na qual você nunca nasceu. Talvez o tempo em si mesmo tenha muitas dimensões potenciais, apesar de estarmos condenados a experimentar apenas uma delas. Suponha que você pudesse voltar ao passado e mudá-lo — convencendo a rainha Isabel a não apoiar Cristóvão Colombo, por exemplo. Com isso, argumenta-se, você teria acionado uma sequência de eventos históricos diferente da que conhecemos hoje, dos quais esses que você conhecia de nossa atual linha do tempo nunca teriam ocorrido. Se *esse* tipo de viagem no tempo fosse possível, toda alternativa histórica imaginável poderia, em certo sentido, de fato existir.

A história consiste na maioria dos casos num pacote complexo de fios profundamente entrelaçados, de forças sociais, culturais e econômicas que não se desmaranham com facilidade. Os incontáveis eventos pequenos, imprevisíveis e aleatórios que fluem sem cessar muitas vezes não têm consequências a longo prazo. Mas alguns, os que ocorrem em conjunturas críticas ou pontos de ramificação, são capazes de mudar o padrão da história. É possível haver casos nos quais profundas mudanças podem ser causadas por ajustes mais ou menos triviais. Quanto mais remoto na história estiver esse evento, mais forte pode ser sua influência — porque mais longa se torna a alavanca do tempo.

O vírus da poliomielite é um minúsculo micro-organismo. Cruzamos com muitos deles a cada dia. Porém, felizmente, só em raras ocasiões ele infecta um de nós e causa essa temível doença [isso antes das vacinas Salk e Sabin]. Franklin D. Roosevelt, o 32º presidente dos Estados Unidos, teve pólio. Tendo-o deixado com dificuldades para se movimentar, talvez a doença tenha induzido Roosevelt a ser mais compassivo com os menos favorecidos; ou talvez o tenha ajudado em seu empenho em busca de sucesso. Se a personalidade de Roosevelt fosse diferente, ou se ele nunca tivesse tido a ambição de ser presidente dos Estados Unidos, talvez a Grande Depressão da década

de 1930, a Segunda Guerra Mundial e o desenvolvimento de armas nucleares tivessem acontecido de outra maneira. O futuro do mundo poderia ter sido alterado. Mas um vírus é uma coisa insignificante, mede um milionésimo de centímetro. É quase nada.

Por outro lado, suponha que nosso viajante no tempo tenha convencido a rainha Isabel de que a geografia de Colombo era falha, que, considerando a estimativa de Eratóstenes para a circunferência da Terra, o navegador nunca chegaria à Ásia. É quase certo que algum outro europeu apareceria algumas décadas depois e viajaria em direção ao oeste e ao Novo Mundo. Melhorias na navegação, a atratividade do comércio de especiarias e a competição entre potências europeias rivais tornaram a descoberta da América por volta de 1500 quase inevitável. É claro, não haveria nas Américas um país chamado Colômbia, nem um distrito chamado Colúmbia, nem uma cidade chamada Columbus em Ohio, ou uma universidade chamada Columbia. Porém o curso geral da história poderia ter sido mais ou menos o mesmo. Para que o futuro fosse afetado de maneira profunda, é provável que um viajante no tempo tivesse de intervir em vários eventos escolhidos a dedo, para mudar o modo com que a história se vai tecendo.

É uma fantasia encantadora essa de explorar mundos que nunca existiram. Ao visitá-los, poderíamos compreender como a história funciona de fato; a história poderia se tornar uma ciência experimental. Se uma pessoa cuja atuação tenha sido aparentemente crucial nunca tivesse existido — Platão, digamos, ou o apóstolo Paulo, ou Pedro, o Grande —, quão diferente seria o mundo? E se a tradição científica dos antigos gregos jônios tivesse sobrevivido e florescido? Isso teria feito com que muitas das forças sociais da época fossem diferentes — entre elas a crença prevalente de que a escravidão era natural e correta. E se aquela luz que alvoreceu no Mediterrâneo oriental há 2500 anos não se tivesse extinguido? Se a ciência e o método experimental e a dignidade das artes de ofícios e mecânicas tivessem progredido de maneira marcante 2 mil anos antes da Revolução Industrial? Se o poder desse novo modo de pensar tivesse sido mais apreciado em termos globais? Às vezes acho que poderíamos então ter economizado dez ou vinte séculos. Talvez a contribuição de Leonardo da Vinci tivesse acontecido mil anos antes e a de Einstein, quinhentos anos antes. Nessa Terra alternativa, Da Vinci e Einstein, é claro, talvez não tivessem nascido. Muitas coisas teriam sido diferentes. Em cada ejaculação há centenas de milhões de espermatozoides, e quase sempre apenas um deles fertilizará o óvulo e produzirá um membro da geração seguinte de seres humanos. Mas qual espermatozoide fertilizará o óvulo vai depender dos mais insignificantes fatores, tanto do ponto de vista interno quanto do externo. Se apenas num pequeno detalhe algo tivesse acontecido de outra maneira há 2500 anos, nenhum de nós estaria aqui hoje. Haveria bilhões de outras pessoas vivendo em nosso lugar.

Se o espírito dos jônios tivesse saído vencedor, creio que nós — um outro “nós”, é claro — poderíamos estar agora nos aventurando a ir para as estrelas. Nossas primeiras naves de reconhecimento de Alfa de Centauro, da estrela de Barnard, de Sirius e de Tau Ceti já teriam retornado há muito tempo. Grandes flotilhas de transportes interestelares estariam em construção na órbita da Terra — naves de prospecção não tripuladas, transportes para imigrantes, imensas naves comerciais para sulcar os mares do espaço. Em todas essas naves haveria símbolos e escritas. Se olhássemos de perto, veríamos que a língua era o grego. E talvez o símbolo na proa de uma das

primeiras naves estelares fosse um dodecaedro com a inscrição “Nave Estelar Theodorus, do Planeta Terra”.

Na linha do tempo de nosso mundo, as coisas andaram um pouco mais devagar. Ainda não estamos preparados para as estrelas. Mas talvez dentro de um século ou dois, quando o sistema solar tiver sido explorado por completo, já tenhamos dado um jeito em nosso planeta. Teremos a vontade, os recursos e a tecnologia para ir até as estrelas. Teremos examinado, a grandes distâncias, a diversidade de outros sistemas planetários, alguns muito parecidos com o nosso, outros muitíssimo diferentes. Saberemos quais estrelas visitar. Nossas máquinas e nossos descendentes percorrerão os anos-luz, os filhos de Tales e Aristarco, de Da Vinci e Einstein.

Ainda não temos certeza de quantos são os sistemas planetários existentes, mas eles parecem ser abundantes. Em nossa vizinhança imediata há apenas um, mas em certo sentido são quatro: Júpiter, Saturno e Urano têm, cada um, um sistema de satélites que, em seus tamanhos relativos e nos espaçamentos entre as luas, são muito semelhantes aos planetas que giram em torno do Sol. Uma extrapolação das estatísticas concernentes às estrelas duplas que diferem muito em suas massas sugere que quase todas as estrelas isoladas, como o Sol, devem estar acompanhadas de planetas.

Ainda não somos capazes de enxergar de maneira direta os planetas de outras estrelas, minúsculos pontos de luz submersos no brilho de seus sóis locais. Mas estamos nos tornando capazes de detectar a influência gravitacional de um planeta invisível sobre uma estrela observada. Imagine tal estrela com um “movimento próprio”, movendo-se durante décadas contra um pano de fundo de constelações mais distantes; e com um grande planeta, com a massa de Júpiter, digamos, cujo plano orbital por acaso esteja alinhado nos ângulos corretos com nossa linha de observação. Quando esse planeta escuro estiver, de nosso ponto de vista, à direita da estrela, a estrela estará um pouco deslocada para a direita, e inversamente quando o planeta estiver à esquerda. Portanto, o percurso da estrela estará alterado, ou perturbado, de modo a ser uma linha ondulada em vez de uma linha reta. A estrela mais próxima à qual esse método de verificação de perturbação gravitacional pode ser aplicado é a de Barnard, a mais próxima estrela isolada. As complexas interações entre as três estrelas do sistema e Alfa de Centauro tornariam muito difícil a procura, ali, de uma companheira de baixa massa. Mesmo no caso da estrela de Barnard a investigação tem de ser cuidadosa, uma busca de deslocamentos microscópicos em chapas fotográficas expostas no telescópio durante um período de décadas. Como essas, foram feitas duas buscas de planetas em torno da estrela de Barnard, e ambas foram, segundo alguns critérios, bem-sucedidas, implicando a presença de dois dos três planetas com massa joviana movendo-se numa órbita (calculada segundo a terceira lei de Kepler) um pouco mais próxima de sua estrela do que as órbitas de Júpiter e de Saturno estão do Sol. Porém, o que é uma pena, os dois conjuntos de observações parecem ser incompatíveis entre si. Um sistema planetário em torno da estrela de Barnard bem pode ter sido descoberto, mas uma comprovação inequívoca ainda aguarda estudos complementares.

Outros métodos para detectar planetas em torno das estrelas estão em desenvolvimento, entre eles um no qual a luz ofuscante da estrela é oculta de modo artificial — com um disco na frente de um telescópio espacial, ou usando a margem escura da Lua como esse disco — e, com isso, fazendo com que a luz refletida do planeta, não mais oculta pelo brilho da estrela próxima, apareça. Nas

próximas décadas teremos respostas definitivas quanto a quais das cem estrelas mais próximas estão acompanhadas de grandes planetas.*

Em anos recentes, observações em luz infravermelha revelaram um certo número do que parecem ser nuvens pré-planetárias de gás e poeira em forma de disco em torno de algumas das estrelas próximas. Enquanto isso, alguns instigantes estudos teóricos têm sugerido que sistemas planetários são um lugar-comum galáctico. Um conjunto de investigações computacionais examinou a evolução de um disco de gás e poeira plano e em condensação, do tipo que se pensa levar à formação de estrelas e planetas. Pequenos caroços de matéria — primeiras condensações no disco — são injetados no disco em momentos aleatórios. À medida que os caroços se movem, a eles se acrescentam partículas de poeira. Quando atingem certo tamanho, eles também atraem gravitacionalmente o gás na nuvem, sobretudo hidrogênio. Quando dois desses caroços em movimento colidem, o programa de computador faz com que se grudem um no outro. O processo continua até que todo o gás e toda a poeira tenham sido usados desse modo. Os resultados dependem das condições iniciais, em especial da distribuição da densidade do gás e da poeira em relação à distância ao centro da nuvem. Mas para certa incidência de condições iniciais plausíveis, sistemas planetários — cerca de dez planetas, os de aspecto terrestre próximos da estrela, os jovianos no exterior — reconhecivelmente parecidos com o nosso são gerados. Em outras circunstâncias não existem planetas — apenas algo parecido com asteroides; ou pode haver planetas jovianos próximos à estrela; ou um planeta joviano pode agregar tanto gás e poeira que se torna uma estrela, que será origem de um sistema binário de estrelas. Ainda é cedo demais para ter certeza, mas parece que se vai encontrar uma esplêndida variedade de sistemas planetários por toda a Galáxia, e com muita frequência — todas as estrelas devem provir, acreditamos, dessas nuvens de gás e poeira. Pode haver 100 bilhões de sistemas planetários na Galáxia, aguardando exploração.

Nenhum desses mundos será idêntico à Terra. Alguns poderão ser hospitaleiros; a maioria se mostrará hostil. Muitos serão de uma beleza pungente. Em alguns mundos haverá muitos sóis no céu diurno, muitas luas no céu noturno, ou grandes sistemas de partículas em forma de anel pairando de horizonte a horizonte. Algumas luas estarão tão próximas que seu planeta será visto bem alto no firmamento, cobrindo metade deste. Em alguns mundos se avistará uma vasta nebulosa gasosa, remanescente da estrela que foi um dia e não é mais. Em todos esses céus, plenos de constelações distantes e exóticas, haverá uma débil estrela amarela — talvez quase invisível a olho nu, talvez visível apenas ao telescópio —, a estrela-base da frota de transporte interestelar que está explorando essa pequena região da grande galáxia da Via Láctea.

Os temas espaço e tempo estão, como vimos, entrelaçados. Mundos e estrelas, como pessoas, nascem, vivem e morrem. O tempo de vida de um ser humano se mede em décadas; o tempo de vida do Sol é 100 milhões de vezes mais longo. Comparados com as estrelas, somos como efeméridas, criaturas transitórias e fugazes que vivem toda a sua vida no decurso de um único dia. Do ponto de vista da efemérida, seres humanos são lerdos, chatos, quase imóveis, sem dar qualquer indicação de que alguma vez façam alguma coisa. Do ponto de vista de uma estrela, um ser humano é um lampejo minúsculo, um dos bilhões de breves vidas que piscam, tênues, na superfície de uma estranhamente fria, anormalmente sólida, exoticamente distante esfera feita de silicato e ferro.

Em todos esses outros mundos no espaço há eventos em progressão, ocorrências que determinarão seu futuro. Em nosso pequeno planeta, este momento é um ponto de inflexão histórica tão profundo quanto o confronto entre os cientistas jônios e os místicos, 2500 anos atrás. O que fizermos com nosso mundo no presente se propagará ao longo dos séculos e determinará de forma poderosa o destino de nossos descendentes e sua sina, se é que haverá alguma, entre as estrelas.

---

* Atualmente, este método vem sendo muito bem-sucedido na busca de exoplanetas. No presente momento, temos confirmada a existência de mais de 3500 exoplanetas. (N. R. T.)

9. A vida das estrelas

Tínhamos o céu, lá em cima, todo salpicado de estrelas, e costumávamos nos deitar de costas e olhar para elas, e conversar sobre se elas foram criadas ou apenas aconteceram.

Mark Twain, *As aventuras de Huckleberry Finn*

Tenho [...] uma necessidade terrível [...] devo pronunciar a palavra? [...] de religião. Saio então à noite e pinto as estrelas.

Vincent van Gogh

Para fazer uma torta de maçã você precisa de farinha de trigo, maçãs, um pouco disso e daquilo, e o calor de um forno. Os ingredientes — digamos, o açúcar, a água — são feitos de moléculas. As moléculas, por sua vez, são feitas de átomos — carbono, oxigênio, hidrogênio e alguns outros elementos. De onde vêm esses átomos? Com exceção do hidrogênio, todos eles se formam nas estrelas. Uma estrela é uma espécie de cozinha cósmica dentro da qual átomos de hidrogênio são cozinhados e viram átomos mais pesados. As estrelas se condensam a partir de gás e poeira interestelar, que são compostos, em sua maior parte, de hidrogênio. Mas o hidrogênio foi criado no Big Bang, a explosão que deu início ao cosmos. Se quiser fazer uma torta de maçã a partir do zero, você primeiro terá de inventar o universo.

Suponha que você pegue uma torta de maçã e a divida ao meio; pegue um dos dois pedaços, corte *este* ao meio; e, no espírito de Demócrito, continue fazendo isso. Quantos cortes terá de fazer até chegar a um único átomo? A resposta é cerca de noventa cortes sucessivos. Claro que nenhuma faca será afiada o bastante, a torta é esfarelenta demais, e de qualquer forma o átomo seria pequeno demais para ser visto a olho nu. Mas há uma maneira de fazer isso.

Na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, nos 45 anos centrados em 1910, a natureza do átomo foi compreendida pela primeira vez — atirando-se átomos de encontro a átomos e observando-se como eles ricocheteiam. Um átomo típico tem, no lado de fora, uma espécie de nuvem de elétrons. Elétrons são eletricamente carregados, como seu nome sugere. A carga é, de maneira arbitrária, considerada negativa. Os elétrons determinam as propriedades químicas do átomo — o brilho do ouro, a sensação de frieza do ferro, a estrutura cristalina do diamante, feito de carbono. Bem fundo dentro do átomo, escondido por baixo da nuvem de elétrons, está o núcleo, em geral composto de prótons carregados positivamente, e de nêutrons, eletricamente neutros. Os átomos são muito pequenos — 100 milhões deles um ao lado do outro teriam o tamanho da ponta de seu dedo mínimo. Mas o núcleo é ainda 100 mil vezes menor, o que é, em parte, o motivo pelo qual levou tanto tempo para ser descoberto.[1] Não obstante, a maior parte da massa de um átomo está em seu núcleo; em comparação com ela, os elétrons são apenas nuvens de penugem em

movimento. Átomos são feitos principalmente de espaço vazio. Matéria é composta principalmente por nada.

Sou feito de átomos. Meu cotovelo, que está apoiado na mesa à minha frente, é feito de átomos. A mesa é feita de átomos. Mas se os átomos são tão pequenos e vazios, e os núcleos ainda menores, como é que a mesa me aguenta? Por que, como Arthur Eddington gostava de perguntar, os núcleos que compõem meu cotovelo não deslizam sem esforço atravessando os núcleos que compõem a mesa? Por que não vou parar no chão? Nem caio direto através da Terra?

A resposta está na nuvem de elétrons. O exterior de um átomo de meu cotovelo tem carga eletricamente negativa. Da mesma forma, cada átomo na mesa. Mas cargas negativas se repelem umas às outras. Meu cotovelo não desliza através da mesa porque os átomos têm elétrons em volta do núcleo e porque as forças elétricas são poderosas. A vida no dia a dia depende da estrutura do átomo. Desligue as cargas elétricas, e tudo desmoronará numa fina poeira invisível. Sem as forças elétricas, não haveria mais *coisas* no universo — apenas nuvens difusas de elétrons, prótons e nêutrons, e esferas de partículas elementares gravitando, remanescentes descaracterizados de mundos.

Quando consideramos a ideia de cortar uma torta de maçã até chegar a um único átomo, estamos diante de algo que é ínfimo. E quando olhamos para o céu noturno estamos diante de um infinito que é muito grande. Esses infinitos representam uma regressão que se prolonga não apenas para muito longe, mas para sempre. Se você se postar entre dois espelhos — numa barbearia, digamos —, verá um grande número de imagens de si mesmo porque os espelhos não são perfeitamente planos e alinhados, porque a luz não viaja em velocidade infinita e porque você está no meio do caminho. Quando falamos de infinito estamos nos referindo a uma quantidade maior do que qualquer número, por maior que este seja.

O matemático americano Edward Kasner pediu uma vez a seu sobrinho de nove anos que inventasse um nome para número imensamente grande — dez elevado a cem (10^{100}), representado pelo algarismo um seguido de cem zeros. O menino o chamou de gúgol. Ei-lo: 10 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000. Você também pode inventar seus próprios números muito grandes e lhes dar nomes estranhos. Tente fazer isso. Tem um certo charme, em especial se você tiver nove anos.

Se um gúgol lhe parece algo grande, considere um gugolplex. É dez elevado a um gúgol — isto é, o algarismo um seguido de um gúgol de zeros. Fazendo uma comparação, o número total de átomos em seu corpo é de cerca de 10^{28}, e o número total de partículas elementares — prótons, nêutrons e elétrons — no universo observável é cerca de 10^{80}. Se o universo fosse preenchido solidamente[2] com nêutrons, digamos, de modo que não houvesse espaços vazios em parte alguma, ainda assim haveria apenas 10^{128} partículas nele, um pouco mais que um gúgol, mas muito menos se comparado com um gugolplex. E mesmo assim esses números, o gúgol e o gugolplex, não se aproximam, nem chegam perto, da ideia do infinito. Um gugolplex está *exatamente* tão distante do infinito quanto está o número um. Poderíamos tentar escrever em cifras um gugolplex, mas é uma ambição sem esperanças. Um papel grande o bastante para nele se escreverem todos os zeros do gugolplex não caberia no universo conhecido. Felizmente, existe um formato mais simples e muito

conciso para escrever um gugolplex: $(10^{10})^{100}$; ou até mesmo, infinito: ∞.

Numa torta de maçã queimada, o carvão é na maior parte carbono. Após noventa cortes você chega ao átomo de carbono, com seis prótons e seis nêutrons no núcleo, e seis elétrons na nuvem exterior. Se tirássemos um naco do núcleo — digamos, com dois prótons e dois nêutrons —, ele não seria o núcleo de um átomo de carbono, e sim o núcleo de um átomo de hélio. Um corte desse tipo, ou fissão, de um núcleo atômico é o que ocorre em armas nucleares e usinas nucleares convencionais, embora o que se divida não seja carbono. Se você fizer um 91º corte na torta de maçã queimada, ou seja, se partir um núcleo de carbono, não obterá um pedaço menor de carbono, e sim outra coisa — um átomo com propriedades químicas totalmente diferentes. Se você dividir um átomo, estará transmutando o elemento.

Mas suponha que prosseguíssemos ainda além. Átomos são feitos de prótons, nêutrons e elétrons. Será que podemos cortar um próton? Se bombardearmos prótons a altas energias com outras partículas elementares — digamos, outros prótons —, começamos a divisar unidades mais fundamentais ocultas dentro dos prótons. Os físicos estão propondo agora que as assim chamadas partículas elementares como prótons e nêutrons são na verdade formadas por partículas ainda mais elementares chamadas quarks, que ocorrem numa variedade de "cores" e "sabores", como foram denominadas suas propriedades, numa pungente tentativa de fazer o mundo subnuclear um pouco mais parecido com o que nos é familiar. Serão os quarks os componentes finais da matéria, ou serão eles também compostos por partículas ainda menores e *mais* elementares? Será que alguma vez chegaremos à compreensão definitiva da natureza da matéria ou existirá uma regressão infinita para partículas cada vez mais fundamentais? Esse é um dos grandes problemas não resolvidos da ciência.

A transmutação dos elementos foi perseguida em laboratórios medievais, numa busca chamada alquimia. Muitos alquimistas acreditavam que toda matéria era uma mistura de quatro substâncias elementares: água, ar, terra e fogo, antiga especulação jônica. Alterando as proporções relativas de terra e fogo, digamos, eles seriam capazes, pensavam, de transformar cobre em ouro. Esse campo estava cheio de fraudes e de embusteiros, como Cagliostro e o conde de Saint-Germain, que fingiam não só transmutar os elementos como deter o segredo da imortalidade. Às vezes o ouro era escondido numa varinha com fundo falso, para aparecer como que por milagre num cadinho ao final de uma árdua demonstração experimental. Visando à riqueza e à imortalidade, a nobreza europeia se viu transferindo grandes somas aos praticantes dessa arte duvidosa. Mas houve alquimistas mais sérios, como Paracelso e mesmo Isaac Newton. O dinheiro não foi de todo desperdiçado — novos elementos químicos, como o fósforo, o antimônio e o mercúrio, foram descobertos. De fato, a origem da química moderna pode ser rastreada direto desses experimentos.

Do ponto de vista químico, existem 92 tipos diferentes de átomos que ocorrem na natureza. São chamados de elementos químicos, e até pouco tempo atrás constituíam tudo que havia em nosso planeta, embora na maioria das vezes combinados em moléculas. A água é uma molécula composta por átomos de hidrogênio e oxigênio. O ar é feito sobretudo de átomos de nitrogênio (N), oxigênio (O), carbono (C), hidrogênio (H) e argônio (Ar) nas formas moleculares N_2, O_2, H_2O e Ar. A Terra, em si mesma, é uma mistura muito rica de átomos, a maior parte de silício, oxigênio, alumínio, magnésio e ferro. O fogo não é feito de elementos químicos. É um plasma em irradiação no qual as

altas temperaturas tiraram alguns dos elétrons de seus núcleos. Nenhum dos quatro antigos "elementos" jônicos e alquímicos é, no sentido moderno, um elemento: um é uma molécula, dois são misturas de moléculas e o último é um plasma.

Desde o tempo dos alquimistas, cada vez mais elementos têm sido descobertos, e os mais recentes tendem as ser os mais raros. Muitos são familiares — aqueles que primeiro constituíram a Terra; ou aqueles que são fundamentais para a vida. Alguns são sólidos, alguns são gases, e dois (bromo e mercúrio) são líquidos em temperatura ambiente. Por convenção, os cientistas os dispuseram em ordem de complexidade. O mais simples, o hidrogênio, é o elemento 1; o mais complexo, o urânio, é o elemento 92. Outros elementos são menos familiares — háfnio, érbio, disprósio e praseodímio, por exemplo, e não deparamos muito com eles no dia a dia. Em geral, quanto mais familiar um elemento, mais abundante ele é. A Terra contém uma grande quantidade de ferro e muito pouco ítrio. Claro que há exceções a essa regra, como o ouro ou o urânio, elementos valorizados devido a convenções econômicas arbitrárias ou critérios estéticos, ou porque têm notáveis aplicações práticas.

O fato de os átomos serem compostos por três tipos de partículas elementares — prótons, nêutrons e elétrons — é uma descoberta mais ou menos recente. Os nêutrons só foram descobertos em 1932. A física e a química modernas reduziram a complexidade do mundo sensível a uma espantosa simplicidade: três unidades reunidas em diversos padrões formam, em essência, todas as coisas.

Os nêutrons, como dissemos e como seu nome sugere, não têm carga elétrica. Os prótons têm carga positiva e os elétrons, uma carga negativa de mesma intensidade. A atração entre as cargas diferentes de elétrons e prótons é que mantém o átomo unido. Como cada átomo é eletricamente neutro, o número de prótons no núcleo deve ser igual ao de elétrons na nuvem de elétrons. A química de um átomo depende apenas do número de elétrons, que é igual ao número de prótons, e que se chama número atômico. A química é simplesmente números, ideia da qual Pitágoras teria gostado. Se você for um átomo com um próton, você é hidrogênio; com dois, hélio; três, lítio; quatro, berílio; cinco, boro; seis, carbono; sete, nitrogênio; oito, oxigênio e assim por diante, até 92 prótons, caso em que será urânio.

Cargas semelhantes, com o mesmo sinal aritmético, se repelem fortemente. Podemos imaginar isso como uma dedicada aversão mútua a quem é do seu próprio tipo, um pouco como se o mundo fosse densamente povoado por anacoretas e misantropos. Elétrons repelem elétrons. Prótons repelem prótons. Então como o núcleo pode se manter unido? Por que não desmorona instantaneamente? Porque existe mais uma força da natureza: não a gravidade, não a eletricidade, mas a força nuclear de curto alcance, que, como se fosse um conjunto de ganchos que só se prendem quando prótons e nêutrons estão muito próximo uns dos outros, supera a repulsão elétrica entre os prótons. Os nêutrons, que ajudam as forças nucleares de atração e não as forças elétricas de repulsão, constituem uma espécie de cola que ajuda a manter o núcleo unido. Ansiando por solidão, os eremitas se acorrentaram a seus rabugentos colegas e se instalaram entre outros que são dados a indiscriminada e volúvel amabilidade.

Dois prótons e dois nêutrons formam o núcleo de um átomo de hélio, que se mostra muito

estável. Três núcleos de hélio formam um núcleo de carbono; quatro, um núcleo de oxigênio; cinco, de neônio; seis, de magnésio; sete, de silício; oito, de enxofre; e assim por diante. Cada vez que acrescentamos um ou mais prótons e nêutrons suficientes para manter o núcleo unido, estamos criando um novo elemento químico. Se subtrairmos um próton e três nêutrons do mercúrio, criamos ouro, o que era o sonho dos antigos alquimistas. Mais além do urânio há outros elementos que, na Terra, não ocorrem na natureza. São sintetizados por seres humanos e na maioria dos casos logo se desintegram. Um deles, o elemento 94, chama-se plutônio e é uma das substâncias mais tóxicas conhecidas. Infelizmente, ele se desintegra muito devagar.

De onde vêm os elementos que ocorrem naturalmente? Poderíamos considerar uma criação separada para cada espécie de átomo. Mas o universo, todo ele, quase em toda parte, é 99% hidrogênio e hélio,[3] os dois elementos mais simples. O hélio, na verdade, foi detectado no Sol antes de ser detectado na Terra — daí seu nome (de Hélio, um dos deuses gregos do Sol). Poderiam os demais elementos ter evoluído a partir do hidrogênio e do hélio? Para equilibrar a repulsão elétrica, segmentos de matéria nuclear teriam de estar muito próximos uns dos outros de forma que as forças nucleares de curto alcance se engajassem. Isso só pode acontecer em temperaturas muito elevadas, nas quais as partículas se movimentem com tanta rapidez que as forças de repulsão não tenham tempo de agir — temperaturas de dezenas de milhões de graus. Na natureza, temperaturas tão elevadas e respectivas altas pressões são comuns apenas no interior das estrelas.

Temos examinado o Sol, a estrela mais próxima, em vários comprimentos de onda, de ondas de rádio à luz ordinária visível e aos raios X, todos os quais emergem apenas de suas camadas mais externas. Ele não é bem uma pedra ardente, como pensou Anaxágoras, e sim uma grande bola de gás, hidrogênio e hélio, brilhando devido a suas altas temperaturas, do mesmo modo que um atiçador brilha quando fica vermelho de tão quente. Anaxágoras tinha razão, ao menos em parte. Tempestades solares violentas produzem erupções que perturbam as comunicações de rádio na Terra e criam imensos arcos de fumaça feitos de gás quente sob a ação do campo magnético do Sol, as chamadas protuberâncias solares, que apequenam ainda mais nosso planeta. As manchas solares, às vezes visíveis a olho nu no pôr do sol, são regiões coloridas em que a força do campo magnético foi aumentada. Toda essa atividade incessante e turbulenta passa-se na comparativamente fria superfície visível. Só enxergamos em temperaturas de até 6 mil graus. Mas no interior oculto do Sol, onde está sendo gerada a luz solar, a temperatura é de 40 milhões de graus.

As estrelas e os planetas que as acompanham nascem do colapso gravitacional de uma nuvem interestelar de gás e poeira. A colisão das moléculas de gás no interior da nuvem a aquece, chegando mais tarde ao ponto em que o hidrogênio começa a se fundir em hélio: quatro núcleos de hidrogênio se combinam para formar um núcleo de hélio, com uma correspondente liberação de um fóton de raio gama.* Sofrendo de maneira alternada absorção e emissão pela camada sobrejacente, gradualmente abrindo caminho em direção à superfície da estrela, perdendo energia a cada passo, a épica jornada dos fótons dura 1 milhão de anos até que, na forma de luz visível, eles chegam à superfície e são irradiados para o espaço. A estrela foi ligada. O colapso gravitacional da nuvem pré-estelar foi detido. O peso das camadas exteriores da estrela está agora sustentado pelas altas temperaturas e pressões geradas nas reações nucleares do interior. O Sol tem estado nessa

situação estável nos últimos 5 bilhões de anos. As reações termonucleares, como as de uma bomba de hidrogênio, estão energizando o Sol em contidas e contínuas explosões, que convertem 400 milhões de toneladas (4×10^{14} gramas) de hidrogênio em hélio a cada segundo. Quando olhamos para cima à noite e contemplamos as estrelas, tudo que vemos está brilhando devido a uma fusão nuclear longínqua.

Na direção da estrela Deneb, na constelação do Cisne, há uma enorme e brilhante superbolha de gás de quentura extrema, talvez produzida por explosões de supernovas, as mortes de estrelas, próximas do seu centro. Na periferia, matéria interestelar é comprimida pela onda de choque das supernovas, disparando novas gerações de colapsos de nuvens e a formação de estrelas. Nesse sentido, as estrelas têm progenitores; e às vezes, como também é verdadeiro para os seres humanos, um progenitor pode morrer no nascimento de seu filho.

Estrelas como o Sol nascem em lotes, em grandes e complexas nuvens comprimidas, como a nebulosa de Órion. Vistas de fora, essas nuvens parecem ser escuras e sombrias. Mas por dentro são iluminadas pelo brilho de estrelas recém-nascidas. Mais tarde, as estrelas saem de seu berçário em busca de seu destino na Via Láctea, adolescentes estelares cercadas por tufos de nebulosidade brilhante, resíduos ainda presos gravitacionalmente a seu gás amniótico. As Plêiades são um exemplo próximo. Como nas famílias de seres humanos, as estrelas depois de maduras se afastam de casa e as irmãs pouco se veem. Em algum lugar da Galáxia há estrelas — talvez dezenas delas — que são irmãos e irmãs do Sol, formadas pela mesma nuvem complexa há 5 bilhões de anos. Mas não sabemos que estrelas seriam essas. Podem estar, até onde sabemos, no outro lado da Via Láctea.

A conversão de hidrogênio em hélio no centro do Sol não resulta apenas no brilho do Sol, em fótons de luz visível; também produz radiação de um tipo mais misterioso e fantasmagórico: o Sol brilha fracamente em neutrinos, os quais, como os fótons, não pesam nada** e viajam à velocidade da luz. Mas neutrinos não são fótons. Não são um tipo de luz. Neutrinos, como prótons, elétrons e nêutrons, têm um momento angular intrínseco, ou spin, giro, enquanto os fótons não têm nenhum spin. A matéria é transparente para os neutrinos, que atravessam quase sem esforço a Terra e o Sol. Apenas uma pequena fração deles é detida por matéria interveniente. Se eu olhar para o Sol por um segundo, 1 bilhão de neutrinos atravessarão meu globo ocular. Claro que não serão detidos pela retina, como são os fótons normalmente, e sim continuarão, sem ser molestados, saindo pela minha nuca. A parte curiosa é que se eu, à noite, olhar para baixo, para o solo, para o lugar onde veria o Sol se a Terra não estivesse no caminho, quase o mesmo número de neutrinos solares passaria pelo meu globo ocular, atravessando a parte da Terra que se interpõe entre mim e o Sol, que é tão transparente para os neutrinos quanto seria uma placa de vidro claro à luz visível.

Se nosso conhecimento do interior do Sol for tão completo quanto achamos que deve ser, e se também compreendermos a física nuclear que produz os neutrinos, seremos capazes de calcular com razoável exatidão quantos neutrinos solares incidem em determinada área — como a de meu globo ocular — numa determinada unidade de tempo, como um segundo. A confirmação experimental do cálculo é muito mais difícil. Como os neutrinos atravessam direto a Terra, não podemos capturar determinada quantidade deles. Mas para um grande número de neutrinos, uma pequena fração interagirá com matéria e nas circunstâncias adequadas poderá ser detectada.

Neutrinos podem, em raras ocasiões, converter átomos de cloro em átomos de argônio, com o mesmo número total de prótons e nêutrons. Para detectar um previsto fluxo de neutrino solar é preciso dispor de uma imensa quantidade de cloro, e por isso físicos americanos derramaram enorme quantidade de fluido de limpeza na mina Homestake, em Lead, Dakota do Sul. O cloro torna-se, em termos microquímicos, um recém-produzido argônio. Quanto mais argônio se achar, mais neutrinos infere-se que tenham sido transformados. Esses experimentos implicam que o Sol é menos iluminado por neutrinos do que os cálculos prediziam.

Aqui existe um mistério real e não resolvido.*** O baixo fluxo solar de neutrinos talvez não prejudique nossa visão da nucleossíntese solar, mas com certeza significa algo importante. As explicações propostas vão desde a hipótese de que neutrinos se fragmentam durante sua passagem do Sol para a Terra até a ideia de que as combustões nucleares no interior solar estão temporariamente controladas e a luz solar é gerada em nossa época por lenta contração gravitacional. Mas a astronomia dos neutrinos é muito recente. Por enquanto estamos atônitos por termos criado uma ferramenta capaz de perscrutar de maneira direta o coração ardente do Sol. À medida que a sensibilidade do telescópio de neutrinos aumentar, se tornará possível demonstrar a fusão nuclear nos interiores profundos de estrelas próximas.

Mas a fusão do hidrogênio não pode continuar para sempre: no Sol ou em qualquer outra estrela, há uma quantidade finita desse elemento em seu quente interior. A sina de uma estrela, o fim de seu ciclo de vida, depende muito de sua massa inicial. Se, após perder para o espaço seja qual for a quantidade de sua massa, uma estrela retiver duas ou três vezes a massa do Sol, ela terminará seu ciclo de vida de modo totalmente diferente dele. Mas a sina do Sol já é espetacular o bastante. Quando todo o hidrogênio de seu centro já tiver reagido para formar hélio, dentro de 5 bilhões ou 6 bilhões de anos, a zona de fusão do hidrogênio devagar migrará para fora, uma cápsula de reações termonucleares em expansão até chegar a um lugar no qual as temperaturas são inferiores a cerca de 10 milhões de graus. Então a fusão do hidrogênio se interromperá. Enquanto isso a autogravidade do Sol forçará renovadas contrações de seu núcleo rico em hélio, provocando com isso um aumento de temperaturas e pressões em seu interior. Os núcleos de hélio serão compactados um de encontro ao outro com ainda mais força, tanto que *eles* começarão a grudar um no outro, os ganchos de suas forças nucleares de curto alcance se acoplando apesar da repulsão elétrica recíproca. As cinzas se tornarão combustível e o Sol entrará numa segunda rodada de reações de fusão.

Esse processo gerará os elementos carbono e oxigênio, provendo energia adicional para que o Sol continue brilhante por tempo limitado. Uma estrela é uma fênix, destinada a ressurgir uma vez de suas próprias cinzas.[4] Sob a influência combinada da fusão do hidrogênio numa fina cápsula longe do interior solar e da fusão do hélio em alta temperatura em seu centro, o Sol passará por importante mudança: seu exterior vai se expandir e esfriar. Ele se tornará uma estrela vermelha gigante, a superfície visível tão longe de seu interior que a gravidade na superfície ficará mais fraca e sua atmosfera se expandirá para o espaço numa espécie de ventania estelar. Quando o Sol, corado e inchado, se tornar uma vermelha gigante, envolverá e devorará os planetas Mercúrio e Vênus — e talvez a Terra também. O sistema solar interior residirá então dentro do Sol.

Dentro de bilhões de anos, haverá um último dia perfeito na Terra. Depois dele o Sol começará devagar a ficar vermelho e a se distender, presidindo ao aquecimento e sufoco da Terra, mesmo nos polos. As calotas de gelo no Ártico e na Antártida derreterão, inundando os litorais do mundo. As altas temperaturas dos oceanos libertarão mais vapor d'água no ar, aumentando a nebulosidade, escudando a Terra da luz solar e adiando um pouco o desfecho. Mas a evolução solar é inexorável. Mais tarde os oceanos vão ferver, a atmosfera vai evaporar para o espaço e a uma catástrofe das mais imensas proporções imagináveis assolará o planeta.[5] Enquanto isso, os seres humanos quase com certeza terão evoluído para algo bem diferente. Talvez nossos descendentes sejam capazes de controlar ou atenuar a evolução estelar. Ou talvez simplesmente peguem suas coisas e sigam para Marte, ou Europa, ou Titã, ou por fim, como na visão de Robert Godard, busquem um planeta inabitado em algum sistema planetário jovem e promissor.

As cinzas estelares do Sol poderão ser reutilizadas como combustível só até certo ponto. Depois virá o tempo em que o interior do Sol será todo carbono e oxigênio, quando nas temperaturas e pressões prevalentes não poderá haver mais reações nucleares. Depois que o hélio central tiver sido quase todo utilizado, o interior do Sol continuará seu adiado colapso, as temperaturas tornarão a subir, deslanchando uma última rodada de reações nucleares e expandindo um pouco a atmosfera solar. Em seus estertores mortais, o Sol pulsará a um ritmo lento, expandindo-se e contraindo-se uma vez a cada alguns milênios, mais tarde expelindo sua atmosfera para o espaço em uma ou mais cápsulas concêntricas de gás. O quente interior solar, exposto, inundará a cápsula de luz ultravioleta, induzindo uma linda fluorescência vermelha e azul que se estenderá para além da órbita de Plutão. Talvez metade da massa do Sol se perca desse modo. O sistema solar ficará então cheio de uma misteriosa radiação, o fantasma do Sol, dirigindo-se para o exterior.

Quando olhamos a nossa volta, em nosso pequeno canto da Via Láctea, vemos muitas estrelas cercadas por cápsulas esféricas de gás brilhante, as nebulosas planetárias. (Elas não têm nada a ver com planetas, mas algumas parecem ser reminiscentes, em telescópios inferiores, dos discos azul-esverdeados de Urano e Netuno.) Têm aparência de anéis, mas apenas porque, como em bolhas de sabão, enxergamos mais de sua periferia do que de seu centro. Cada nebulosa planetária é o indicador de uma estrela que está in extremis. Próximo à estrela central pode haver um séquito de mundos mortos, remanescentes de planetas que já foram cheios de vida e agora não têm ar nem oceanos, banhados de uma luminosidade fantasmagórica. Os restos mortais do Sol, o centro exposto dele, no início envolto em sua nebulosa planetária, serão uma pequena estrela quente, perdendo calor para o espaço, que colapsou para uma densidade nunca antes conhecida na Terra, mais de uma tonelada para o volume de uma colher de chá. Daqui a bilhões de anos o Sol se tornará uma degradada anã branca, esfriando, como todos esses pontos de luz que vemos nos centros de nebulosas planetárias, a partir de altas temperaturas de superfície até seu estágio final, de uma escura e morta anã negra.

Duas estrelas de mais ou menos a mesma massa evoluem mais ou menos paralelamente. Mas uma estrela com massa maior esgotará seu combustível nuclear mais rápido, tornar-se-á uma gigante vermelha mais cedo e será a primeira a entrar no declínio final como anã branca. Deveria, portanto, haver, como há, muitos casos de estrelas binárias, uma delas uma gigante vermelha, a outra uma anã

branca. Alguns desses pares apresentam tanta proximidade entre as duas que chegam a se tocar, e a brilhante atmosfera estelar flui da distendida gigante vermelha para a compacta anã branca, tendendo a cair em determinada região na superfície da anã branca. O hidrogênio se acumula, comprimido a pressões e temperaturas cada vez mais altas pela intensa gravidade da anã branca, até que a atmosfera roubada à gigante vermelha passa por reações termonucleares, e a anã branca fulgura e brilha brevemente. Uma binária assim chama-se nova e tem origem bem diferente daquela da supernova. As novas ocorrem apenas em sistemas binários e sua energia vem de fusão de hidrogênio; supernovas ocorrem em estrelas isoladas**** e sua energia vem de fusão de silício.

Os átomos sintetizados nos interiores de estrelas em geral são devolvidos ao gás interestelar. As atmosferas exteriores de gigantes vermelhas são lançadas no espaço; as nebulosas planetárias são o estágio final de estrelas como o Sol que expeliram suas camadas externas. As supernovas ejetam com violência no espaço muito de sua massa estelar. Os átomos que retornam são, naturalmente, os que com mais rapidez foram gerados nas reações termonucleares nos interiores estelares: o hidrogênio se funde em hélio, o hélio em carbono, o carbono em oxigênio e depois disso, em estrelas de grande massa, mais elementos são gerados pela sucessiva adição de mais núcleos de hélio, neônio, magnésio, silício, enxofre — adições por etapas, dois prótons e dois nêutrons em cada etapa, até chegar ao ferro. A fusão direta de silício também gera ferro, um par de átomos de silício, cada um com 28 prótons e nêutrons, se unindo à temperatura de bilhões de graus, para formar um átomo de ferro, com 56 prótons e nêutrons.

Todos esses são elementos químicos familiares. Reconhecemos seus nomes. Essas reações nucleares na estrela não geram prontamente érbio, háfnio, disprósio, praseodímio ou ítrio, e sim elementos que conhecemos do dia a dia, elementos que retornam ao gás interestelar, onde são levados a uma subsequente geração de um colapso da nuvem e formação de estrela e de planeta. Todos os elementos da Terra, exceto o hidrogênio e algum hélio, foram cozinhados numa espécie de alquimia estelar bilhões de anos atrás para formar estrelas, algumas das quais são hoje discretas anãs brancas no outro lado da Via Láctea. O nitrogênio em nosso DNA, o cálcio em nossos dentes, o ferro em nosso sangue, o carbono em nossas tortas de maçã foram feitos no interior de estrelas em colapso. Somos feitos de material de estrelas.

Alguns dos elementos mais raros são gerados na própria explosão da supernova. Temos na Terra uma relativa abundância de ouro e urânio só porque muitas explosões de supernovas ocorreram de imediato antes de se formar o sistema solar. Outros sistemas planetários podem ter quantidades um tanto diferentes de nossos elementos raros. Serão eles planetas nos quais os habitantes exibem, com orgulho, pingentes de nióbio e braceletes de protactínio, e onde o ouro é uma curiosidade de laboratório? Nossa vida seria melhor se o ouro e o urânio fossem na Terra tão obscuros e desimportantes quanto o praseodímio?

A origem e a evolução da vida estão conectadas do modo mais íntimo possível com a origem e a evolução das estrelas. Primeiro: a própria matéria de que somos compostos, os átomos que fazem a vida possível, foram gerados há muito tempo e muito longe daqui. A relativa abundância dos elementos químicos encontrados no cosmos corresponde tão bem à relativa abundância de átomos gerados nas estrelas que não deixa muita dúvida de que as gigantes vermelhas e as supernovas são as

fornalhas e os cadinhos nos quais foi forjada a matéria. O Sol é uma estrela de segunda — ou terceira — geração. Toda a matéria que existe nele, toda a matéria que você vê a sua volta, provém de um ou dois ciclos precedentes de alquimia estelar. Segundo: a existência de certas variedades de átomos pesados na Terra sugere que houve a explosão de uma supernova próxima antes da formação do sistema solar. Mas é improvável que isso seja mera coincidência; o mais provável é que a onda de choque produzida pela supernova tenha comprimido gás e poeira interestelares e deslanchado a condensação do sistema solar. Terceiro: quando o Sol "se ligou", sua radiação ultravioleta penetrou na atmosfera da Terra; seu calor gerou o relâmpago; e essas fontes de energia desencadearam o surgimento das complexas moléculas orgânicas que levaram à origem da vida. Quarto: a vida na Terra desenvolve-se quase que exclusivamente à luz do Sol. Plantas reúnem os fótons e convertem energia solar em energia química. Animais parasitam as plantas. A agricultura é apenas a colheita metódica da luz solar, usando plantas como relutantes intermediários. Somos, quase todos nós, movidos a energia solar. Por fim, as mudanças hereditárias chamadas mutações proveem a matéria-prima da evolução. Mutações, das quais a natureza seleciona seu novo inventário de formas de vida, são produzidas em parte por raios cósmicos — partículas de alta energia ejetadas quase à velocidade da luz em explosões de supernovas. A evolução da vida na Terra é movida em parte pelas mortes espetaculares de imensos e distantes sóis.

Imagine-se levando um contador Geiger e um pedaço de urânio a um lugar profundo nos subterrâneos da Terra — uma mina de ouro, digamos, ou um tubo de lava, uma caverna escavada através da Terra por um rio de rocha derretida. Esse sensível contador bipa quando exposto a raios gama ou a partículas muito carregadas de energia, como prótons e núcleos de hélio. Se o levarmos para perto do minério de urânio, que está emitindo núcleos de hélio numa degeneração nuclear espontânea, a frequência do contador, o número de cliques por minuto, tem um aumento colossal. Se pusermos o minério de urânio numa vasilha pesada de chumbo, a frequência do contador cai de maneira substancial; o chumbo absorveu a radiação do urânio. Mas ainda se ouvem alguns cliques. Desses cliques remanescentes, uma fração vem da radioatividade natural das paredes da caverna. Porém há mais cliques do que os atribuíveis à radioatividade. Alguns deles são causados por partículas carregadas de alta energia que penetram pelo teto. Estamos ouvindo os raios cósmicos, produzidos em outra época nas profundezas do espaço. Raios cósmicos, sobretudo elétrons e prótons, bombardearam a Terra durante toda a história da vida em nosso planeta. Uma estrela se destrói a milhares de anos-luz de distância e produz raios cósmicos que percorrem em espiral a Via Láctea durante milhões de anos até que, por acaso, alguns deles atingem a Terra e nosso material hereditário. Talvez algumas etapas-chave no desenvolvimento do código genético, ou a explosão do Cambriano, ou a postura bípede de nossos ancestrais tenham sido desencadeadas por raios cósmicos.

No dia 4 de julho de 1054, astrônomos chineses registraram o que chamaram de "estrela hóspede" na constelação de Touro. Uma estrela nunca antes vista era mais brilhante do que qualquer outra no céu. A uma distância de meia-volta ao mundo dali, no sudoeste americano, havia então uma cultura de alto nível, com rica tradição astronômica, que também testemunhou a existência dessa nova e brilhante estrela.[6] De datação feita com carbono-14 para o carvão

remanescente de uma fogueira, sabemos que em meados do século XI alguns anasazis, antepassados dos hopis de hoje, viviam sob uma protuberância suspensa de rocha no que atualmente é o estado do Novo México. Um deles parece ter feito, protegido do clima por aquela saliência no penhasco, um desenho da nova estrela. Sua posição em relação à lua crescente corresponderia exatamente ao que foi descrito quanto à estrela. Há também a impressão de uma mão, talvez a assinatura do artista.

Essa estrela notável, a 5 mil anos-luz de distância, é hoje chamada de supernova do Caranguejo, porque um astrônomo, séculos depois, sabe-se lá por quê, achou que lembrava um caranguejo quando viu pelo telescópio os remanescentes de sua explosão. A nebulosa do Caranguejo é o que resta de uma estrela imensa que explodiu. A explosão foi avistada da Terra a olho nu durante três meses. Visível com facilidade à luz do dia, sua claridade à noite era suficiente para iluminar a leitura. Uma supernova ocorre, em determinada galáxia, em média uma vez em cada século. Durante o tempo de vida de uma galáxia típica, cerca de 10 bilhões de anos, 100 milhões de estrelas terão explodido — uma grande quantidade, mas uma só estrela em cada mil. Na Via Láctea, após o evento de 1054, houve uma supernova observada em 1572 e descrita por Tycho Brahe, e outra, logo depois, em 1604, descrita por Johannes Kepler.[7] Infelizmente, nenhuma explosão de supernova foi observada em nossa galáxia desde a invenção do telescópio, e os astrônomos vêm tentando isso em vão há séculos.*****

Supernovas agora costumam ser observadas em outras galáxias. Entre minhas candidatas à sentença que mais assombrou um astrônomo no século XX figura esta, de um artigo de David Helfand e Knox Long na edição de 6 de dezembro de 1979 da revista *Nature*:

> Em 5 de março de 1979, uma irrupção extremamente intensa de raios X e raios gama foi registrada pelas nove espaçonaves interplanetárias da rede de sensores de irrupções, e localizada, por aferição de tempo de voo, numa posição coincidente com a dos remanescentes da supernova N49 na Grande Nuvem de Magalhães.

(A Grande Nuvem de Magalhães, assim chamada porque o primeiro habitante do hemisfério norte a notá-la foi Fernão de Magalhães, é uma pequena galáxia satélite da Via Láctea, a 180 mil anos-luz de distância. Existe também, como se pode depreender, uma Pequena Nuvem de Magalhães.) No entanto, no mesmo número da *Nature*, E. P. Mazets e seus colegas do Instituto Ioffe, de Leningrado — que observaram essa fonte com o detector de irrupções de raio gama a bordo das espaçonaves *Venera 11* e *Venera 12*, em seu caminho para pousar em Vênus —, alegam que o que estava sendo visto era o lampejo de um pulsar a apenas algumas centenas de anos-luz de distância. Mas apesar da estreita coincidência de posição, Helfand e Long não insistem em que a irrupção de raios gama esteja associada a um remanescente de supernova. Cautelosos, consideram muitas alternativas, entre as quais a surpreendente possibilidade de que a fonte esteja dentro do sistema solar. Talvez fosse o escapamento de uma espaçonave alienígena em seu longo caminho para casa. Mas a eclosão de fogos estelares na N49 é uma hipótese mais simples: temos certeza de que essas coisas chamadas supernovas existem.

O destino do sistema solar interior quando o Sol se tornar uma gigante vermelha é bastante sombrio. Mas pelo menos os planetas não serão derretidos ou fritados por uma supernova em erupção. Essa é uma sina reservada a planetas que estão próximos de estrelas com mais massa do que

o Sol. Como essas estrelas com temperaturas e pressões mais elevadas consomem mais rápido seu estoque de combustível nuclear, seu tempo de vida é muito mais curto que o do Sol. Uma estrela com dez vezes mais massa que o Sol é capaz de converter estavelmente hidrogênio em hélio durante apenas uns poucos milhões de anos antes de passar brevemente para reações nucleares mais exóticas. Assim, é quase certo que não haja tempo suficiente para a evolução de formas avançadas de vida em quaisquer dos planetas que a acompanhem; e seria raro que seres em outro lugar pudessem saber que sua estrela se tornaria uma supernova: se vivessem o bastante para compreender supernovas, isso significaria ser improvável que sua estrela se tornasse uma.

A condição preliminar necessária para a explosão de uma supernova é a geração, por fusão de silício, de um massivo núcleo de ferro. Sob enorme pressão, os elétrons livres no interior estelar são forçados a se mesclar com os prótons do núcleo do ferro, as cargas elétricas iguais e opostas se anulando mutuamente; o interior da estrela torna-se um único núcleo atômico gigante, que ocupa um volume muito menor do que os elétrons e núcleos de ferro precursores. Esse núcleo implode com violência, o exterior ricocheteia e disso resulta uma explosão de supernova. Uma supernova pode ser mais luminosa do que a radiância combinada de todas as outras estrelas na galáxia na qual está contida. Todas essas recém-surgidas estrelas supergigantes branco-azuladas em Órion estão destinadas, dentro de alguns milhões de anos, a se tornarem supernovas, num contínuo espetáculo de fogos de artifício na constelação do caçador.

A impressionante explosão de supernova ejeta no espaço a maior parte da matéria da estrela precursora — um pouco de hidrogênio e hélio residuais e significativas quantidades de outros átomos, de carbono e silício, ferro e urânio. Fica restando um núcleo de nêutrons quentes, mantido unido por forças nucleares, um único e massivo núcleo atômico com peso atômico de cerca de 10^{56}, um sol com trinta quilômetros de diâmetro, um pequeno fragmento encolhido, denso, ressecado, uma estrela de nêutrons em rápida rotação. Quando o núcleo de uma gigante vermelha massiva colapsa para formar essa estrela de nêutrons, ela gira mais rápido. A estrela de nêutrons no centro da nebulosa do Caranguejo é um imenso núcleo atômico com o tamanho aproximado de Manhattan, girando trinta vezes por segundo. Seu poderoso campo magnético, ampliado durante o colapso, atrai e aprisiona partículas, um pouco como o faz o muito menor campo magnético de Júpiter. Os elétrons no campo magnético em rotação emitem feixes de radiação não só em frequências de rádio, mas também como luz visível. Se ocorrer de a Terra se encontrar no feixe emitido por esse farol cósmico, nós o veremos lampejar a cada rotação. É por isso que o chamamos de pulsar. Piscando como se fossem metrônomos cósmicos, os pulsares são mais precisos que o mais preciso relógio comum. A tomada de tempo a longo prazo da pulsação de alguns pulsares, por exemplo, a do chamado PSR 0329 + 54, sugere que esses objetos podem ser acompanhados por um ou mais pequenos planetas. Talvez seja concebível que um planeta possa sobreviver à evolução de uma estrela para um pulsar; ou que um planeta seja capturado num momento posterior. Eu me pergunto qual seria o aspecto do céu visto da superfície de um desses planetas.

Uma colher de chá de matéria de uma estrela de nêutrons pesa o mesmo que uma montanha comum — tanto que, se você tivesse um pedaço dela e a deixasse cair (seria difícil conseguir evitar isso), ela poderia passar sem esforço pela Terra, assim como uma pedra que cai passa pelo ar,

cravando um buraco enquanto atravessa de cabo a rabo o planeta e surge no outro lado, talvez na China. Pode ser que houvesse pessoas por perto, dando uma volta, cuidando de seus próprios assuntos, quando um pequeno pedaço de matéria de uma estrela de nêutrons surgisse do solo, flutuasse por um instante e voltasse para o interior da Terra, proporcionando ao menos alguma diversão na rotina do dia. Se um fragmento de matéria de uma estrela de nêutrons caísse de uma região próxima do espaço sobre a Terra, que está girando por baixo, ele mergulharia repetidas vezes através dela em rotação, perfurando centenas de milhares de buracos antes que o atrito com o interior de nosso planeta acabasse detendo o movimento. Antes de ele afinal parar no centro da Terra, o interior desta teria por breve tempo o aspecto de um queijo suíço, até que o fluxo subterrâneo de rocha e metal curasse suas feridas. Ainda bem que não se conhecem na Terra grandes fragmentos de matéria de estrela de nêutrons. Mas fragmentos pequenos estão por toda parte. O assombroso poder das estrelas de nêutrons nos espreita no núcleo de cada átomo, oculto em cada xícara de chá e em cada arganaz, cada inspiração de ar, cada torta de maçã. A estrela de nêutrons nos ensina a ter respeito pelo que é comum.

Uma estrela como o Sol terminará seus dias, como vimos, como uma gigante vermelha e depois uma anã branca. Uma estrela em colapso com duas vezes a massa do Sol se tornará uma supernova e depois uma estrela de nêutrons. Mas uma estrela com massa ainda maior, que ficou, depois de sua fase de supernova, com, digamos, cinco vezes a massa do Sol, tem uma sina ainda mais marcante reservada para ela — sua gravidade a transformará num buraco negro. Suponha que tenhamos uma máquina mágica de gravitação — um dispositivo com o qual sejamos capazes de controlar a gravidade da Terra, talvez fazendo avançar um ponteiro num mostrador. Primeiro o mostrador é regulado para 1 g,[8] e tudo se comporta como nos acostumamos a esperar que se comporte. Os animais e plantas na Terra e as estruturas de nossas construções evoluíram, todos, ou foram projetados para 1 g. Se a gravidade fosse muito menor do que isso, poderia haver formatos altos e espichados que não tropeçariam ou desabariam devido ao próprio peso. Se a gravidade fosse muito maior, plantas, animais e a arquitetura teriam de ser baixos, atarracados e robustos para não entrar em colapso.****** Mas mesmo num campo gravitacional muito forte, a luz viajaria em linha reta, como viaja, é claro, na vida diária.

Considere um possível grupo típico de seres terrenos no chá descrito em *Alice no país das maravilhas*. À medida que diminuímos a gravidade, as coisas pesam menos. Perto de 0 g o menor movimento faz nossos amigos flutuar e se chocar no ar. O chá derramado — ou qualquer outro líquido — forma glóbulos esféricos palpitando no ar: a tensão superficial do líquido supera a gravidade. Por toda parte há bolhas de chá. Se agora regularmos o mostrador de novo para 1 g, haverá uma chuva de chá. Quando aumentarmos um pouco mais — de 1, digamos, para 3 ou 4 —, tudo se imobiliza: mesmo mover uma pata requer um esforço enorme. Como um gesto de bondade, retiramos nossos amigos do domínio da máquina de gravidade antes de a ajustarmos para uma gravidade ainda maior. O feixe de luz de uma lanterna viaja em perfeita linha reta (até onde conseguimos vê-lo) tanto a alguns g quanto a 0 g. A 1000 g o facho ainda é reto, mas as árvores foram esmagadas e achatadas; a 100 mil g rochas são esmigalhadas por seu próprio peso. A partir daí nada sobreviverá, exceto, por uma dispensa especial, o gato de Cheshire. Quando a gravidade

chega perto de 1 bilhão de g, algo ainda mais estranho acontece. O facho de luz, que até agora seguia reto para o céu, começa a se curvar. Submetida a acelerações gravitacionais fortíssimas, a luz é puxada de volta para o solo junto a nós. Agora o cósmico gato de Cheshire desapareceu; só seu riso gravitacional permanece.

Quando a gravidade é forte o suficiente, nada, nem a luz, pode escapar. Um lugar assim é chamado de buraco negro. Enigmaticamente indiferente a suas cercanias, ele é uma espécie de gato de Cheshire cósmico. Quando a densidade e a gravidade se tornam bastante altas, o buraco negro dá uma piscadela e desaparece de nosso universo. Por isso é chamado de negro: nenhuma luz escapa a ele. Em seu interior, como a luz fica presa lá, as coisas podem ser atrativamente bem iluminadas. Mesmo sendo um buraco negro invisível do lado de fora, sua presença gravitacional pode ser palpável. Se, numa viagem interestelar, você não prestar atenção, pode ser arrastado sem volta para um, sendo seu corpo desagradavelmente espichado até se tornar um fio longo e fino. Porém a matéria que se agrega num disco que circunda o buraco negro será uma visão que valerá e pena recordar, no improvável caso de você sobreviver a essa viagem.

Reações termonucleares no interior solar sustentam as camadas exteriores do Sol e adiam por bilhões de anos um catastrófico colapso gravitacional. Nas anãs brancas, a pressão dos elétrons destituídos de seus núcleos é que sustenta a estrela. Nas estrelas de nêutrons, a pressão dos nêutrons evita a ação da gravidade. Mas numa estrela mais velha remanescente de explosões de supernova e outras impetuosidades com mais de várias vezes a massa do Sol, não há forças conhecidas que possam impedir o colapso. A estrela sofre um incrível encolhimento, gira, avermelha-se e desaparece. Uma estrela com massa vinte vezes maior que a do Sol encolherá até ter o tamanho da Grande Los Angeles; a esmagadora gravidade chega a 10^{10} g, e a estrela desliza para uma rachadura autogerada no continuum do espaço-tempo e desaparece do nosso universo.

Buracos negros foram imaginados pela primeira vez pelo astrônomo inglês John Mitchell em 1783. Mas a ideia parecia tão bizarra que de modo geral foi ignorada até bem pouco tempo atrás. Então, para assombro de muitos, entre os quais vários astrônomos, descobriu-se de fato evidência da existência de buracos negros no espaço. A atmosfera da Terra é opaca para raios X. Para determinar se objetos astronômicos emitem luz com esses comprimentos de onda curtos, um telescópio de raios X tem de ser posicionado a grande altitude. O primeiro observatório de raios X foi resultado de extraordinário esforço internacional, posto em órbita pelos Estados Unidos a partir de uma plataforma de lançamento italiana no oceano Índico, ao largo da costa do Quênia e chamado Uhuru, palavra suaíli para “liberdade”. Em 1971, Uhuru descobriu uma notável e brilhante fonte de raio X na constelação do Cisne, cintilando mil vezes por segundo. Essa fonte, que foi chamada de Cygnus X-1, deve, portanto, ser muito pequena. Qualquer que seja o motivo para a cintilação, a informação de quando ligar e desligar não pode cruzar Cyg X-1 com mais velocidade do que a da luz, 300 mil quilômetros por segundo. Assim, Cyg X-1 não pode ter mais de [300 000 km/s] × [(1/1000) s] = trezentos quilômetros de diâmetro. Algo do tamanho de um asteroide é uma fonte brilhante e cintilante de raios X, visível a distâncias interestelares. O que poderia ser? Cyg X-1 está no exato lugar no céu em que se encontra uma estrela supergigante azul e quente, que na luz visível se revela como tendo próxima a ela uma companheira massiva mas invisível, que

gravitacionalmente a puxa primeiro numa direção, depois em outra. A massa da companheira é cerca de dez vezes a do Sol. A supergigante seria uma improvável fonte de raios X, e é tentador identificar a companheira inferida na luz visível com a fonte detectada na luz de raio X. Porém um objeto invisível que pesa dez vezes mais que o Sol e que colapsou para um volume do tamanho de um asteroide só pode ser um buraco negro. É plausível que os raios X sejam gerados por atrito no disco de gás e poeira agregado em torno de Cyg X-1 a partir de sua companheira supergigante. Outras estrelas, chamadas V861 Scorpii, GX339-4, SS433 e Circinus X-2, também são candidatas a serem buracos negros. Cassiopeia A é remanescente de uma supernova cuja luz teria chegado à Terra no século XVII, quando havia um bom número de astrônomos. Mas ninguém relatou a explosão. Talvez, como sugeriu I. S. Shklowskii, haja um buraco negro escondido lá, que engoliu o núcleo da estrela explodida e abafou os fogos da supernova. Telescópios no espaço são os meios para examinar esses cacos e fragmentos de dados que podem ser a pista, o rastro de lendário buraco negro.

Um artifício útil para compreender buracos negros é pensar na curvatura do espaço. Considere uma superfície plana, flexível, bidimensional, como um pedaço de papel quadriculado feito de borracha. Se deixarmos cair sobre ele uma pequena massa, a superfície se deforma ou afunda. Uma bola de gude rola em torno dessa depressão numa órbita semelhante à de um planeta em torno do Sol. Nessa interpretação, que devemos a Einstein, a gravidade é uma distorção no tecido do espaço. Em nosso exemplo, vemos um espaço bidimensional ser distorcido por uma massa para uma terceira dimensão física. Imagine que vivemos num universo tridimensional, que é localmente distorcido por matéria para uma quarta dimensão que não somos capazes de perceber de maneira direta. Quanto maior a massa local, mais intensa a gravidade local e mais acentuada a depressão, distorção ou deformação do espaço. Nessa analogia, um buraco negro é uma espécie poço sem fundo. O que aconteceria se você caísse dentro dele? Visto de fora, você levaria um tempo infinito para cair, porque todos os seus relógios — mecânicos e biológicos — seriam percebidos como tendo parado. Mas de *seu* ponto de vista, todos os relógios estariam funcionando normalmente. Se de algum modo conseguisse sobreviver às forças de maré e ao fluxo de radiação, e (suposição provável) se o buraco negro estivesse girando, é possível que você surgisse em outra parte do espaço-tempo — outro lugar no espaço, outro lugar no tempo. A existência desses buracos de vermes (ou de minhocas) no espaço, parecidos com os de uma maçã, foi seriamente sugerida, conquanto não se tenha provado de modo algum que eles de fato existem. Será que tais túneis de gravidade serviriam como uma espécie de metrô interestelar, ou intergaláctico, que nos permitiria viajar a lugares inacessíveis com muito mais rapidez do que poderíamos por meios normais? Poderiam os buracos negros funcionar como máquinas do tempo, levando-nos a um passado remoto ou a um futuro distante? O fato de que essas ideias estejam sendo discutidas, mesmo que não totalmente a sério, demonstra quão surreal o universo pode ser.

Somos, no mais profundo sentido do termo, filhos do cosmos. Pense no calor do Sol em seu rosto voltado para cima num dia de verão sem nuvens; pense em como é perigoso olhar direto para ele. A 150 milhões de quilômetros de distância reconhecemos seu poder. O que sentiríamos em sua superfície ardente e autoiluminada, ou imersos em seu coração de fogo nuclear? O Sol nos aquece,

nos alimenta e permite que enxerguemos. Ele fecunda a Terra. Seu poder está além da experiência humana. Pássaros saúdam o alvorecer com audível êxtase. Até organismos unicelulares sabem nadar em direção à luz. Nossos ancestrais adoravam o Sol,[9] e estavam longe de ser tolos. Apesar de ele ser uma estrela comum, até medíocre. Se temos de cultuar um poder maior do que nós mesmos, não faz sentido reverenciar o Sol e as estrelas? Oculta em toda investigação astronômica, às vezes soterrada tão fundo que nem o próprio pesquisador tem ciência de sua presença, subjaz uma semente de reverente temor.

A Galáxia é um continente inexplorado cheio de seres exóticos de dimensões estelares. Fizemos um reconhecimento preliminar e conhecemos alguns de seus habitantes. Alguns deles se parecem com seres que conhecemos. Outros são bizarros, além de nossas mais irrestritas fantasias. Mas estamos apenas no comecinho de nossa exploração. Viagens de descobertas no passado sugerem que muitos dos habitantes mais interessantes do continente galáctico continuam desconhecidos e imprevisíveis. Fora da Galáxia, não muito longe, é quase certo que existem planetas, orbitando estrelas nas Nuvens de Magalhães e nos aglomerados globulares que circundam a Via Láctea. Esses mundos ofereceriam uma vista deslumbrante do nascer da Galáxia — uma enorme forma em espiral contendo 400 bilhões de habitantes estelares, com nuvens de gás em colapso, sistemas planetários em condensação, supergigantes luminosas, estrelas de meia-idade estáveis, gigantes vermelhas, anãs brancas, nebulosas planetárias, novas, supernovas, estrelas de nêutrons e buracos negros. Esse mundo deixaria claro, como já começa a ser claro para nós, como nossa matéria, nossas formas e muito de nosso jeito de ser são determinados pela profunda conexão da vida com o cosmos.

---

* Dentro das estrelas, dois hidrogênios podem se fundir, formando um isótopo de hidrogênio chamado de deutério, possuidor de um próton e um nêutron. Através do deutério é, então, formado o hélio. Esse ciclo se chama cadeia próton-próton e é responsável por boa parte da energia do Sol. (N. R. T.)

** Embora suas massas sejam incrivelmente pequenas, hoje sabemos que neutrinos possuem massa. Sendo assim, por possuir massa, eles viajam *quase* à velocidade da luz. (N. R. T.)

*** Esse problema só foi satisfatoriamente resolvido em 1998. (N. R. T.)

**** Isso nem sempre é verdade. Existe uma classe de Supernovae que surge de um sistema binário. Esse tipo de Supernova foi diretamente responsável pela descoberta da Aceleração do universo, que rendeu o prêmio Nobel de física em 2011 a Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt e Adam G. Riess. (N. R. T.)

***** Em 1987, uma supernova explodiu na Grande Nuvem de Magalhães, uma galáxia satélite da Via Láctea. Foi a primeira observação com equipamentos modernos desse fenômeno. (N. R. T.)

****** O estudo da composição do universo, questão central da cosmologia, mostrou que o Cosmos é muito mais estranho do que Sagan e outros cientistas de sua época poderiam supor. Hoje, as evidências apontam que toda matéria comum, a que formam as galáxias, os elementos químicos e, em última instância, a nós mesmos, compõe apenas 5% da densidade atual do universo. Outros aproximadamente 25% são formados pela matéria escura: uma matéria que não interage com a luz, mas cuja massa é responsável pela formação e aglomeração das galáxias e aglomerados. O restante do universo é composto por um fluido completamente estranho: A Energia Escura, que possui a inesperada propriedade de acelerar a expansão do universo, atuando como uma matéria “antigravitacional”. A descoberta da aceleração do universo rendeu o Nobel de Física a Riess, Perlmutter e Schmidt, em 2011. (N. R. T.)

10. Na beira da eternidade

> *Existe uma via elevada, conspícua no céu claro, chamada Via Láctea, que brilha com seu próprio brilho. Por ela seguem os deuses para a morada do grande Tronante e seu palácio real [...]. Aqui os célebres e poderosos habitantes do céu têm seus lares. Essa é a região que eu poderia ousar chamar de [Via] Palatina do Grande Firmamento.*
>
> Ovídio, *Metamorfoses*, Roma, século I

> *Alguns homens tolos declaram que um Criador fez o mundo. A doutrina de que o mundo foi criado é malconcebida e deveria ser rejeitada.*
>
> *Se Deus criou o mundo, onde estava Ele antes da criação? [...] Como Deus conseguiu fazer o mundo sem dispor de matéria-prima? Se você disser que primeiro Ele a fez, e depois o mundo, estará diante de uma infindável regressão [...].*
>
> *Saiba que o mundo é incriado, assim como o próprio tempo, não tem começo nem fim.*
>
> *E se baseia nos princípios [...].*
>
> Jinasena, *O Mahapurana* (A grande lenda), século IX

Dez ou 20 bilhões de anos atrás, algo aconteceu — o Big Bang, evento que deu início a nosso universo. *Por que* aconteceu é o maior mistério que conhecemos. *Que* aconteceu é razoavelmente claro. Toda matéria e energia que existe hoje no universo estava concentrada numa densidade elevadíssima — uma espécie de ovo cósmico, reminiscente dos mitos da criação em muitas culturas —, talvez num ponto matemático sem nenhuma dimensão. Não é que toda matéria e energia estivesse espremida num canto qualquer do nosso universo atual; e sim que o universo inteiro, matéria, energia e o espaço que preenchem, ocupava um volume muito pequeno. Não havia nele muito espaço para que ocorressem eventos.

Naquela titânica explosão cósmica, o universo começou uma expansão que nunca mais cessou. É ilusório descrever a expansão do universo como uma espécie de bolha que se distende, vista do lado de fora. Por definição, nada daquilo sobre o que poderemos saber um dia *estava* do lado de fora. Melhor é pensar nisso do lado de dentro, talvez com linhas de grade — imaginadas para aderir ao tecido do espaço em movimento — expandindo-se de modo uniforme em todas as direções. À medida que o espaço se esticava, a matéria e a energia no universo se expandiam com ele e esfriavam com rapidez. A radiação da bola de fogo cósmica que, então como agora, enchia o universo, percorria o espectro — de raios gama a raios X para a luz ultravioleta; para as cores do arco-íris do espectro visível; para o infravermelho e as regiões do rádio. Os remanescentes daquela bola de fogo, a radiação cósmica de fundo, emanando de todas as partes do céu, podem hoje ser detectados por radiotelescópios. No universo primordial, o espaço era brilhantemente iluminado. Com o passar do tempo, o tecido espacial continuou a se expandir, a radiação esfriou e, na luz visível normal, pela primeira vez o espaço ficou escuro, como é hoje em dia.

O universo primordial era cheio de radiação e de muita matéria, originalmente hidrogênio e hélio, formados por partículas elementares na densa bola de fogo primal. Havia muito pouco a ser visto, se é que havia alguém por perto para ver. Depois, pequenos bolsões de gás, pequenas irregularidades começaram a aumentar. Formaram-se cachos de vastas e diáfanas nuvens de gás, colônias de grandes coisas pesadas que giravam devagar, brilhando de maneira constante, cada uma delas uma espécie de monstro que mais tarde conteria 100 bilhões de pontos resplandecentes. Tinham se formado as maiores estruturas visíveis no universo. Nós as vemos hoje. Nós mesmos habitamos um canto perdido de uma delas. Nós as chamamos de galáxias.

Cerca de 1 bilhão de anos após o Big Bang, a distribuição de matéria pelo universo ficou um pouco encaroçada, talvez devido ao fato de que o próprio Big Bang não tinha sido perfeitamente uniforme. A matéria estava mais densamente compactada nesses caroços do que em outros lugares. Sua gravidade arrastou para eles quantidades substanciais do gás que lhes estava próximo, fazendo crescer as nuvens de hidrogênio e hélio destinadas a se tornar aglomerados de galáxias. Uma irregularidade inicial muito pequena foi suficiente para produzir mais tarde substanciais condensações.

Com a continuação de colapso gravitacional, as galáxias primordiais giravam cada vez mais rápido, devido à conservação do momento angular. Algumas se achataram, comprimindo-se ao longo do eixo de rotação, onde a gravidade não é equilibrada pela força centrífuga. Essas se tornaram as primeiras galáxias espirais, grandes cata-ventos de matéria rodando no espaço aberto. Outras protogaláxias com gravidade mais fraca ou com menos rotação inicial se achataram muito pouco e se tornaram as primeiras galáxias elípticas. Em todo o cosmos existem galáxias muito semelhantes, como se tivessem sido estampadas do mesmo molde, porque aquelas leis simples da natureza — a da gravidade e a da conservação do momento angular — são as mesmas em todo o universo. A mesma física que atua nos corpos que caem e nas piruetas de patinadores no gelo aqui embaixo, no microcosmo da Terra, é a que faz as galáxias lá em cima, no macrocosmo do universo.

Dentro das galáxias nascentes, nuvens muito menores também estavam passando por um colapso gravitacional; as temperaturas interiores ficaram muito elevadas, foram iniciadas reações termonucleares e surgiram as primeiras estrelas. As quentes e massivas jovens estrelas evoluíram rápido, as mais devassas consumindo de maneira descuidada seu capital de combustível de hidrogênio, logo acabando com suas vidas em brilhantes explosões de supernovas e devolvendo cinzas termonucleares — hélio, carbono, oxigênio e elementos mais pesados — ao gás interestelar para a formação de uma geração subsequente de estrelas. Explosões de supernova de massivas estrelas primordiais produziram ondas de choque sucessivas e superpostas no gás adjacente, comprimindo o meio intergaláctico e acelerando a geração de aglomerados de galáxias. A gravidade é oportunista, amplificando até pequenas condensações de matéria. As ondas de choque das supernovas podem ter contribuído para acreção de matéria em todas as escalas. A epopeia da evolução cósmica tinha começado, uma hierarquia na condensação de matéria a partir do gás do Big Bang — aglomerados de galáxias, galáxias, estrelas, planetas e, mais tarde, vida e uma inteligência capaz de entender um pouco do elegante processo responsável por sua origem.

Aglomerados de galáxias enchem o universo hoje em dia. Alguns são insignificantes, parcas

coleções de poucas dezenas de galáxias. O que é afetivamente chamado de “Grupo Local” contém apenas duas galáxias de algum tamanho, ambas espirais: a Via Láctea e M31. Outros aglomerados consistem em imensas hordas de milhares de galáxias num recíproco abraço gravitacional. Há algum indício de que o aglomerado de Virgem contém dezenas de milhares de galáxias.

Numa escala maior, habitamos um universo de galáxias, talvez 100 bilhões de primorosos exemplos de arquitetura e decaimento cósmico, em que ordem e desordem são igualmente evidentes: espirais normais, visíveis em vários ângulos de nossa linha de visão a partir da Terra (de frente, vemos os braços da espiral; de lado, ou seja, do plano das margens, as faixas centrais de gás e poeira nas quais se formam os braços); espirais barradas com um rio de gás, poeira e estrelas fluindo através do centro, conectando braços em lados opostos da espiral; imponentes galáxias gigantes elípticas contendo mais de 1 trilhão de estrelas, que cresceram até ficar imensas por terem engolido outras galáxias e se fundido com elas; uma abundância de anãs elípticas, os nanicos galácticos, cada um com uns parcos milhões de sóis; uma variedade imensa de irregularidades, sinais de que no mundo das galáxias há lugares nos quais alguma coisa teve a desventura de dar errado; e galáxias que se orbitam umas às outras e são tão próximas entre si que suas margens se curvam à gravidade das companheiras, e em alguns casos fluxos de gás e estrelas são atraídos de uma para outra gravitacionalmente, uma ponte entre galáxias.

Alguns aglomerados têm suas galáxias dispostas numa inequívoca geometria esférica; são compostos sobretudo por galáxias elípticas, com frequência dominadas por uma elíptica gigante, uma presumível canibal galáctica. Outros aglomerados, com uma geometria muito mais desordenada, têm, em comparação, muito mais espirais e irregulares. Colisões entre galáxias distorcem o formato de um aglomerado originalmente esférico e também podem contribuir para a gênese de espirais e irregulares a partir de elípticas. Os formatos e a abundância das galáxias têm uma história a nos contar sobre eventos antigos, na maior escala possível, uma história que estamos apenas começando a ler.

O desenvolvimento de computadores de alta velocidade possibilita que se façam experimentos numéricos sobre a movimentação coletiva de milhares ou dezenas de milhares de pontos. Em alguns casos, formam-se por si mesmos braços em espiral numa galáxia que já foi achatada para o formato de um disco. Vez ou outra, um braço da espiral pode ser produzido por uma estreita aproximação gravitacional entre duas galáxias, cada uma, é claro, formada por bilhões de estrelas. O gás e a poeira espalhados de maneira difusa por essas galáxias colidem e ficam aquecidos. Porém quando duas galáxias colidem, as estrelas passam com facilidade uma pela outra, como balas de revólver atravessando um enxame de abelhas, pois uma galáxia é feita na maior parte por nada, e os espaços entre as estrelas são imensos. Não obstante, a configuração das galáxias pode sofrer uma distorção grave. Um impacto direto de uma galáxia em outra pode lançar as estrelas que as constituem jorrando e adernando através do espaço intergaláctico, uma galáxia perdida. Quando uma galáxia pequena abalroa de frente uma maior, pode produzir uma das mais encantadoras e raras irregulares, uma galáxia em anel com milhares de anos-luz de diâmetro, tendo como fundo o veludo do espaço intergaláctico. É um respingo no lago galáctico, uma configuração temporária de estrelas deslocadas, uma galáxia que teve sua parte central arrancada.

As bolhas desestruturadas de galáxias irregulares, os braços de galáxias espirais e o toro de galáxias em anel existem por apenas alguns fotogramas no filme cósmico, depois se dissipam, com frequência para se formar de novo. Nossa noção de galáxias como corpos pesados e rígidos é errônea. Elas são estruturas fluidas com 100 bilhões de componentes estelares. Assim como um ser humano, um conjunto de 100 trilhões de células, é de modo geral um estado contínuo entre a síntese e o decaimento, e é mais do que a soma de suas partes, assim também o é uma galáxia.

A taxa de suicídios entre galáxias é alta. Alguns exemplos próximos, distantes dezenas ou centenas de milhões de anos-luz, são poderosas fontes de raios X, de radiação infravermelha e de ondas de rádio, têm cores de uma luminosidade excepcional e flutuam em claridade, numa ordem de tempo de semanas. Algumas apresentam jatos de radiação, colunas de fumaça numa extensão de milhares de anos-luz e discos de poeira numa substancial desordem. Essas galáxias estão se explodindo. Suspeita-se que haja buracos negros que têm entre milhões e bilhões de vezes mais massa do que o Sol no núcleo de galáxias elípticas gigantes, como NGC6251 e M87. Existe algo muito maciço, muito denso e muito pequeno tiquetaqueando e roncando no interior de M87 — numa região menor do que a do sistema solar. A hipótese é que seja um buraco negro. A uma distância de bilhões de anos-luz há objetos ainda mais tumultuados, os quasares, que podem ser as colossais explosões de galáxias jovens, os eventos mais poderosos na história do universo desde o próprio Big Bang.

A palavra "quasar" é acrônimo de "*quasi-stellar radio source*", "fonte de rádio quase estelar". Depois que ficou claro que nem todos eram fontes poderosas de ondas de rádio, foram chamados de QSO ("*quasi-stellar objects*", "objetos quase estelares"). Como têm aparência de estrelas, pensou-se que fossem estrelas dentro de nossa própria galáxia. Porém observações espectroscópicas de seu desvio para o vermelho (veja a seguir) demonstram que é provável que estejam a enormes distâncias. Parecem participar ativamente na expansão do universo, alguns se afastando de nós a mais de 90% da velocidade da luz. Se são tão extremamente longínquos, devem ser intrinsecamente muito brilhantes para serem visíveis a essas distâncias; alguns brilham tanto quanto mil supernovas explodindo ao mesmo tempo. Assim como na Cyg X-1, suas rápidas flutuações demonstram que seu imenso brilho está confinado num volume muito pequeno, nesse caso menor do que o tamanho do sistema solar. Algum processo notável deve ser responsável pelo vasto derramamento de energia num quasar. Entre as explicações propostas estão: (1) quasares são monstruosas versões de pulsares, com um núcleo de enorme massa em rápida rotação conectado a um forte campo magnético; (2) quasares ocorrem devido a colisões múltiplas de milhões de estrelas densamente amontoadas no núcleo da galáxia, rompendo as camadas externas e expondo por completo à visão temperaturas de bilhões de graus no interior de estrelas massivas; (3) numa ideia a esta relacionada, quasares são galáxias nas quais as estrelas estão tão densamente amontoadas que uma explosão de supernova em uma delas romperá as camadas externas de outra e fará desta uma supernova, produzindo uma reação em cadeia estelar; (4) quasares são energizados por violentas e mútuas aniquilações de matéria e de antimatéria, que por algum motivo estavam preservadas neles até então; (5) um quasar é energia liberada quando gás, poeira e estrelas caem num imenso buraco negro no núcleo de uma galáxia, a qual, ela própria, talvez seja produto de eras de colisão e coalescência de buracos negros

menores; e (6) quasares são “buracos brancos”, o outro lado de buracos negros, o afunilado e posterior surgimento à vista de matéria que flui para uma multidão de buracos negros em outras partes do universo, ou mesmo em outros universos.

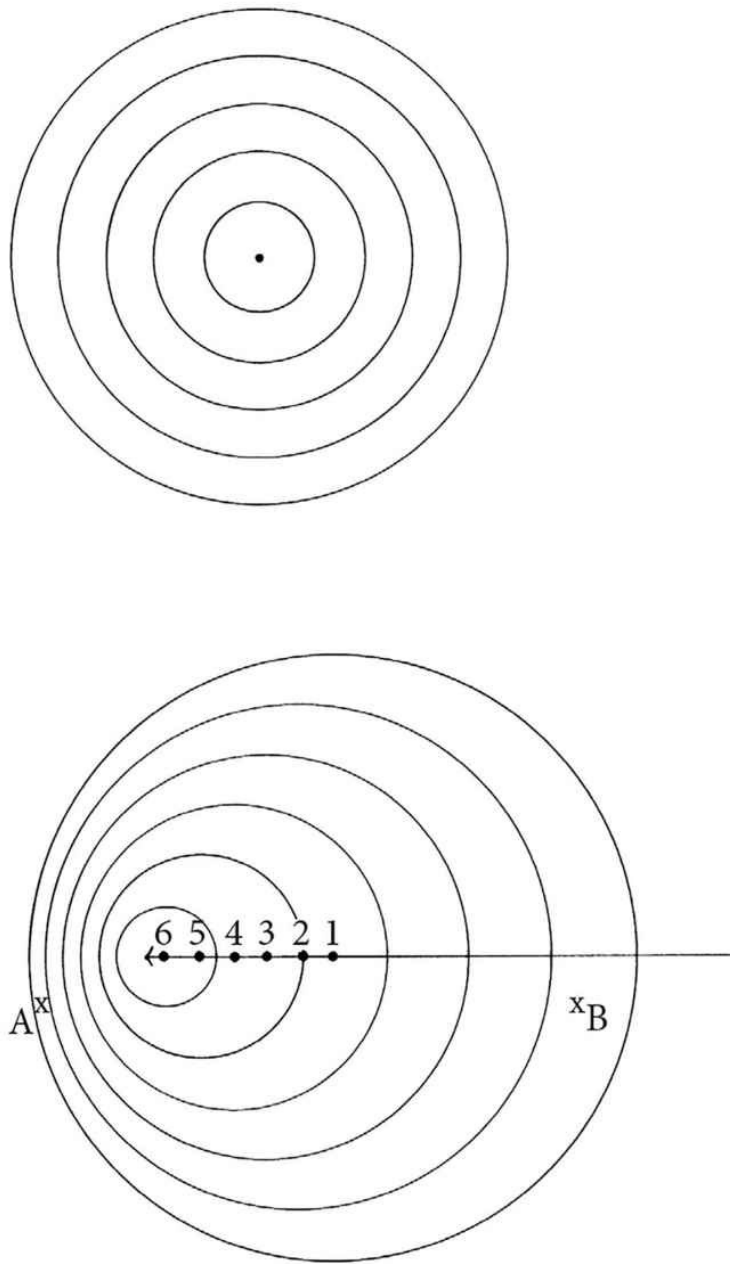
Ao examinar os quasares, estamos confrontando mistérios profundos. Seja qual for a causa da explosão de um quasar, uma coisa parece clara: um evento tão violento tem de produzir estrago, mesmo que não registrado. Em toda explosão de quasar milhões de mundos — alguns contendo vida e inteligência capazes de entender o que estaria acontecendo — podem ser destruídos. O estudo das galáxias revela a existência de ordem e beleza universais. Mostra-nos também uma violência caótica numa escala até aqui nunca imaginada. O fato de vivermos num universo que permite a existência de vida é algo notável. O de vivermos num que destrói galáxias, estrelas e mundos também é notável. O universo não parece ser nem benevolente nem hostil, apenas indiferente às preocupações de criaturas tão insignificantes como nós.

Mesmo uma galáxia à primeira vista tão bem-comportada como a Via Láctea tem suas agitações e suas danças. Observações de rádio mostram a existência de duas enormes nuvens de gás de hidrogênio, suficiente para formar milhões de sóis, projetando-se para fora do núcleo galáctico, como se pequenas explosões acontecessem lá de tempos em tempos. Um observatório astronômico de altas energias em órbita terrestre descobriu que o coração da galáxia é uma forte fonte de determinada linha espectral de raios gama, consistente com a ideia de que lá se esconde um buraco negro de alta massa. Galáxias como a Via Láctea podem representar um estável estágio médio numa contínua sequência evolucionária, que compreende, em sua violenta adolescência, quasares e galáxias explodindo: por serem os quasares tão distantes, nós os vemos em sua juventude, como eram bilhões de anos atrás.

As estrelas da Via Láctea movem-se com uma graça sistemática. Aglomerados globulares mergulham através do plano galáctico e saem do outro lado, de onde invertem seu movimento e arremetem de novo. Se pudéssemos acompanhar a movimentação de estrelas individuais a saltitar no plano galáctico, elas pareceriam pipocas espocando. Nunca se viu uma mudança significativa de formato de uma galáxia apenas porque ela leva muito tempo para se locomover. A Via Láctea faz um giro a cada um quarto de bilhão de anos. Se acelerássemos a rotação, veríamos que ela é uma entidade dinâmica, quase orgânica, que de várias maneiras se parece com um organismo multicelular. Qualquer fotografia astronômica de uma galáxia não passa de um instantâneo de um estágio em sua laboriosa movimentação e evolução.[1] Sua região interior gira como um corpo sólido. Porém, além disso, assim como os planetas em torno do Sol seguem a terceira lei de Kepler, as regiões externas giram cada vez mais devagar. Os braços tendem a se enrolar em torno do núcleo numa espiral cada vez mais apertada, e gás e poeira em padrões de espiral com uma densidade maior, que são por sua vez os locais de formação de estrelas jovens, quentes e brilhantes, as estrelas que delineiam o contorno dos braços da espiral. Essas estrelas brilham durante 10 milhões de anos ou perto disso, período que corresponde a apenas 5% do da rotação galáctica. Mas quando as estrelas que delineiam o braço da espiral se esgotam, formam-se logo atrás delas novas estrelas e as nebulosas a elas associadas, e o padrão de espiral se mantém. As estrelas que delineiam os braços não sobrevivem nem mesmo o tempo de uma rotação galáctica; apenas o padrão de espiral se

mantém.

A velocidade de qualquer estrela em torno do centro da galáxia em geral não é a mesma do padrão espiral como um todo. O Sol tem estado com frequência dentro e fora dos braços da espiral nas vinte vezes em que circundou a Via Láctea a duzentos quilômetros por segundo (cerca de 720 mil quilômetros por hora).* Em média, o Sol e os planetas passam 40 milhões de anos dentro de um braço da espiral, 80 milhões de anos fora, outros 40 milhões dentro e assim por diante. Os braços da espiral delineiam a região em que a última leva de estrelas recém-incubadas está se formando, mas não necessariamente onde estrelas de meia-idade, como o Sol, podem estar. Na época atual estamos vivendo entre braços da espiral.

É concebível que a passagem periódica do sistema solar pelos braços da espiral possa ter tido consequências importantes para nós. Cerca de 10 milhões de anos atrás, o Sol emergiu do complexo do Cinturão de Gould no braço espiral de Órion, que hoje está a pouco menos de mil anos-luz de distância. (No interior do braço de Órion fica o braço de Sagitário; além do braço de Órion está o braço de Perseu.) Quando o Sol passa por um braço da espiral, é mais provável do que agora que ele entre numa nebulosa gasosa e em nuvens de poeira interestelar, e que encontre objetos de massa subestelar. Já se aventou que as principais idades de gelo em nosso planeta, que são recorrentes mais ou menos a cada 100 milhões de anos, podem se dever à interposição de matéria interestelar entre o Sol e a Terra. W. Napier e S. Clube propuseram que certo número de luas, asteroides, cometas e anéis circumplanetários no sistema solar vagueavam livres no espaço interestelar até que foram capturados quando o Sol mergulhava através do braço espiral de Órion. É uma ideia intrigante, conquanto, talvez, não muito provável. Mas é testável. Tudo que precisamos fazer é conseguir uma amostra de, digamos, Fobos, ou um cometa, e examinar seus isótopos de magnésio. A relativa abundância de isótopos de magnésio (todos com o mesmo número de prótons, mas com números diferentes de nêutrons) depende de uma frequência precisa de eventos de nucleossíntese estelar, entre eles a cronologia de explosões de uma supernova próxima, que produziram determinada amostra de magnésio. Em regiões diferentes da Galáxia, sequências diferentes de eventos devem ter ocorrido e diferentes proporções de isótopos de magnésio deveriam prevalecer.

Efeito Doppler. Uma fonte de som ou de luz estacionária emite um conjunto de ondas esféricas. Se a fonte se movimenta da direita para a esquerda, ela emite ondas esféricas com centros progressivamente nos pontos de 1 a 6, como mostrado. Porém um observador em B vê as ondas como que se esticando, enquanto um observador em A as vê como que se comprimindo. Uma fonte que se afasta é vista como um desvio para o vermelho (comprimentos de ondas fazem-se mais longos); uma fonte que se aproxima é vista como desvio para o azul (comprimentos de onda fazem-se mais curtos). O efeito Doppler é a chave para a cosmologia.

A descoberta do Big Bang e da recessão das galáxias proveio de um fato comum da natureza chamado efeito Doppler. Estamos acostumados a ele na física do som. Num carro que passa por nós com velocidade, o motorista aciona a buzina. Dentro do carro, ele ouve um som contínuo com uma altura fixa. Para nós, o som da buzina vai caindo de alta para baixa frequência. Um carro de corrida a duzentos quilômetros por hora está a quase um quinto da velocidade do som. O som é uma sucessão de ondas no ar, uma crista e um vale, uma crista e um vale. Quanto mais perto um ciclo está do outro, mais altas são a frequência e a altura do som; quanto mais afastados, mais baixa é a frequência e mais grave o som. Se o carro estiver se afastando de nós, isso "estende" as ondas sonoras, que passam a ter, de nosso ponto de vista, uma frequência mais baixa, que resulta no som mais grave que nos é familiar. Se estiver se aproximando de nós, as ondas de som parecem se comprimir, a frequência aumenta e ouviremos um som mais agudo. Se soubermos qual é a altura do som da buzina quando o carro está parado, poderemos deduzir sua velocidade de olhos vendados, só da mudança na altura do som.

A luz também é uma onda. Ao contrário do som, ela viaja bem pelo vácuo. O efeito Doppler aparece aqui também. Se em vez de som a buzina do carro estivesse, por alguma razão, emitindo, para a frente e para trás, um feixe de luz de um amarelo puro, a frequência da luz aumentaria ligeiramente quando o carro se aproximasse e diminuiria ligeiramente quando o carro se afastasse. Em velocidades normais esse efeito seria imperceptível. Se, no entanto, o carro estivesse viajando com uma boa fração da velocidade da luz, poderíamos observar como a cor da luz mudaria para a de uma frequência mais alta, isto é, em direção ao azul, quando o carro estivesse se aproximando de nós; e para uma frequência mais baixa, isto é, para o vermelho, quando o carro estivesse se afastando de nós. Um objeto que se aproxime de nós em velocidades muito altas é percebido como tendo, nas cores de suas linhas no espectro, um desvio para o azul. Um objeto que se afaste de nós em velocidades muito altas tem em suas linhas de cores no espectro um desvio para o vermelho.[2] Esse desvio para o vermelho, observado nas linhas do espectro de galáxias distantes e interpretado como efeito Doppler, é a chave para a cosmologia.

Durante os primeiros anos do século XX, o maior telescópio do mundo, destinado a descobrir o desvio para o vermelho de galáxias remotas, estava sendo construído em monte Wilson, com vista para o que eram então os céus claros de Los Angeles. As grandes peças do telescópio tinham de ser levadas montanha acima, trabalho para muitas mulas. Um jovem condutor de mulas chamado Milton Humason ajudava a transportar equipamentos mecânicos e ópticos, cientistas, engenheiros e dignitários ao topo da montanha. Humason conduzia a coluna de mulas montado a cavalo, seu cão terrier branco sentado atrás dele na sela, as patas nos ombros do dono. Este era um trabalhador braçal, mascador de fumo, soberbo apostador e jogador de sinuca, e o que era então chamado de "conquistador" de mulheres. Em sua educação formal nunca tinha ido além da oitava série. Mas era brilhante, curioso e de natureza inquisitiva, querendo saber tudo sobre o equipamento que com tanto esforço transportava para as alturas. Humason estava se encontrando com a filha de um dos engenheiros do laboratório, que nutria reservas quanto ao fato de ela estar saindo com um homem que não tinha ambições maiores do que ser condutor de mulas. Assim, Humason assumiu alguns biscates no observatório, como assistente de eletricista, zelador e faxineiro dos pisos do telescópio

que tinha ajudado a construir. Certa noite, assim conta essa história, o assistente no turno da noite do telescópio adoeceu e pediram a Humason que o substituísse. Ele demonstrou tal habilidade e cuidado com o instrumento que logo se tornou um operador permanente e auxiliar de observação.

Após a Primeira Guerra Mundial chegou ao observatório o futuramente famoso Edwin Hubble — brilhante, requintado, sociável também fora da comunidade astronômica —, com um sotaque inglês adquirido durante apenas um ano como bolsista da Rhodes em Oxford. Foi Hubble quem fez a demonstração final de que as nebulosas espirais eram de fato "universos-ilha", agregados distantes com enormes quantidades de estrelas, como nossa própria Via Láctea; ele tinha concebido o padrão de luminosidade estelar requerido para medir as distâncias às galáxias. Hubble e Humason entenderam-se muito bem, uma dupla de natureza talvez única que trabalhou junto e harmoniosamente no telescópio. Seguindo uma orientação do astrônomo V. M. Slipher, do Observatório Lowell, eles começaram a medir os espectros de galáxias distantes. Ficou logo evidente que Humason era mais capacitado para obter espectros de alta qualidade de galáxias distantes do que qualquer astrônomo profissional no mundo. Ele se tornou membro pleno do Observatório Monte Wilson, aprendeu muitos dos fundamentos científicos de seu trabalho e morreu contando com o respeito da comunidade astronômica.

A luz de uma galáxia é a soma da luz emitida pelas bilhões de estrelas dentro dela. Quando a luz é emitida, certas frequências ou cores são absorvidas pelos átomos nas camadas mais externas da estrela. As linhas resultantes nos permitem dizer que estrelas a uma distância de milhões de anos-luz contêm os mesmos elementos químicos de nosso Sol e de estrelas mais próximas. Humason e Hubble descobriram, para seu espanto, que os espectros de todas as galáxias distantes têm desvio para o vermelho, e, ainda mais impactante, que quanto mais distante estiver a galáxia, mais desvio para o vermelho têm suas linhas espectrais.

A explicação mais óbvia para o desvio para o vermelho era dada em termos de efeito Doppler: as galáxias estavam se afastando de nós; quanto mais distante a galáxia, maior a velocidade de seu recuo. Mas por que estariam elas fugindo de *nós*? Poderia haver algo especial no tocante a nossa posição no universo, como se a Via Láctea tivesse cometido alguma ação inadvertida, porém ofensiva, na vida social das galáxias? Parecia ser muito mais provável que o próprio universo estivesse se expandindo, carregando consigo as galáxias. Ia ficando cada vez mais claro que Humason e Hubble tinham descoberto o Big Bang — se não a origem do universo, ao menos sua encarnação mais recente.**

Quase toda a cosmologia moderna — em especial a noção de um universo em expansão e de um Big Bang — baseia-se na ideia de que o desvio para o vermelho de galáxias distantes é um efeito Doppler e se origina na velocidade de seu afastamento. Mas existem outros tipos de desvio para o vermelho na natureza. Há, por exemplo, o desvio para o vermelho gravitacional, no qual a luz que deixa um intenso campo gravitacional tem de fazer tanto trabalho para isso que perde energia durante a jornada, e o processo é percebido por um observador distante como uma mudança da luz que escapa para ondas mais longas e cores mais vermelhas. Como achamos que pode haver enormes buracos negros no centro de algumas galáxias, essa seria uma explicação concebível para seus desvios para o vermelho. No entanto, as linhas de espectro especificamente observadas são com

frequência características de um gás muito rarefeito e difuso, não da densidade altíssima que deve prevalecer perto de buracos negros. Ou o desvio para o vermelho pode ser um efeito Doppler devido não à expansão geral do universo, e sim a uma mais modesta e local explosão galáctica. Mas então deveríamos esperar que viessem também em nossa direção tantos fragmentos da explosão quanto os que se afastam, tantos desvios para o azul quanto para o vermelho. O que de fato vemos, no entanto, é quase que só desvios para o vermelho, não importa para que objetos distantes além do Grupo Local apontemos nossos telescópios.

Existe, contudo, entre alguns astrônomos, uma irritante suspeita de que nem tudo deve estar correto na dedução, a partir dos desvios para o vermelho de galáxia, no efeito Doppler, de que o universo se está expandindo. O astrônomo Halton Arp descobriu casos enigmáticos e perturbadores em que uma galáxia e um quasar, ou um par de galáxias, que estão em aparente associação física, têm desvios para o vermelho muito diferentes. Vez ou outra parece haver uma ponte de gás, poeira e estrelas a conectá-los. Se o desvio para o vermelho se deve à expansão do universo, desvios para o vermelho muito diferentes implicam distâncias muito diferentes. Mas é difícil que duas galáxias que estão fisicamente conectadas possam estar muito afastadas uma da outra — em alguns casos por 1 bilhão de anos-luz. Céticos dizem que a associação é puramente estatística: que, por exemplo, uma galáxia próxima e brilhante e um quasar muito mais distante, com desvios para o vermelho muito diferentes e velocidades de afastamento muito diferentes, por mero acidente podem estar alinhados na linha de visão; que não têm na realidade uma associação física. Esses alinhamentos estatísticos podem acontecer por acaso de vez em quando. O debate está centrado em se o número de coincidências não é maior do que o que se poderia esperar por mero acaso. Arp aponta para outros casos nos quais uma galáxia com um pequeno desvio para o vermelho está ladeada por dois quasares com grandes e quase idênticos desvios para o vermelho. Ele acredita que os quasares não estão a grandes distâncias cosmológicas, e sim que estão sendo ejetados, à direita e à esquerda, pela galáxia "em primeiro plano"; e que os desvios para o vermelho são resultado de algum até então insondável mecanismo. Os céticos alegam um alinhamento casual e a interpretação convencional de Hubble-Humason do desvio para o vermelho. Se Arp estiver correto, o mecanismo exótico proposto para explicar a fonte de energia de quasares distantes — reações em cadeia de supernovas, buracos negros supermassivos e congêneres — se mostraria desnecessário. Quasares não precisariam então estar muito distantes. Mas algum outro mecanismo exótico seria necessário para explicar o desvio para o vermelho. Seja qual for o caso, algo muito estranho está acontecendo nas profundezas do espaço.

A aparente recessão das galáxias, com o desvio para o vermelho interpretado como efeito Doppler, não é a única evidência do Big Bang. Uma evidência independente e bastante convincente deriva da radiação cósmica de fundo de corpo negro, a tênue estática de ondas de rádio que chegam de maneira uniforme de todas as direções do cosmos na exata intensidade que se esperaria, em nossa época, da radiação, agora substancialmente esfriada, do Big Bang. Mas existe também algo intrigante. Observações com uma antena de rádio sensível levada ao topo da atmosfera terrestre a bordo de uma aeronave *U-2* têm demonstrado que a radiação de fundo tem, a uma primeira aproximação, a mesma intensidade em todas as direções — como se a bola de fogo do Big Bang

tivesse se expandido de maneira uniforme, uma origem do universo com uma simetria perfeita. Mas a radiação de fundo, quando examinada com mais precisão, mostra-se de uma simetria imperfeita. Há um pequeno efeito sistemático que poderia ser entendido como indicativo de que toda a Via Láctea (e talvez outros membros do Grupo Local) estaria rumando para o aglomerado de galáxias de Virgem a mais de seiscentos quilômetros por segundo. A essa velocidade chegaremos lá em 10 bilhões de anos, e a astronomia extragaláctica será então muito mais facilitada. O aglomerado de Virgem já é o mais rico conjunto de galáxias conhecido, cheio de espirais, elípticas e irregulares, um porta-joias no céu. Mas por que estaríamos correndo para lá? George Smoot*** e seus colegas, que fizeram essas observações em grande altitude, sugerem que a Via Láctea está sendo arrastada gravitacionalmente para o centro do aglomerado de Virgem; que este tem muito mais galáxias do que as que foram detectadas até agora; e, o mais surpreendente, que ele tem proporções imensas, estendendo-se num espaço de 1 bilhão ou 2 bilhões de anos-luz.

O universo observável propriamente dito tem apenas algumas dezenas de bilhões de anos-luz de diâmetro e, se existe um vasto superaglomerado no grupo da Virgem, talvez haja outros superaglomerados como esse a distâncias muito maiores, que seriam, correspondentemente, mais difíceis de detectar. No período de vida do universo ao que tudo indica não houve tempo suficiente para que uma desuniformidade gravitacional inicial colhesse a quantidade de massa que parece existir no superaglomerado de Virgem. Assim, Smoot viu-se tentado a concluir que o Big Bang foi muito menos uniforme do que sugerem suas outras observações, que a distribuição original de matéria no universo foi muito irregular, ou "encaroçada". (Um pequeno "encaroçamento" seria de esperar, na realidade até necessário para se compreender a condensação das galáxias, mas nessa escala, é surpreendente.) Talvez o paradoxo possa ser resolvido imaginando-se dois ou mais Big Bangs simultâneos.****

Se o quadro geral de um universo em expansão e de um Big Bang estiver correto, devemos então enfrentar perguntas ainda mais difíceis. Como eram as condições existentes na época do Big Bang? Que aconteceu antes disso? Havia um pequeno universo, destituído de matéria, e então a matéria foi de súbito criada do nada? Como foi que *isso* aconteceu? Em muitas culturas costuma-se afirmar que Deus criou o universo do nada. Mas isso é mera contemporização. Se quisermos encarar a pergunta com coragem, teremos, é claro, de perguntar em seguida de onde veio Deus. E se concluirmos que isso é irrespondível, por que não economizar uma etapa e concluir que a origem do universo é uma questão irrespondível? Ou, se dissermos que Deus sempre existiu, por que não economizar uma etapa e concluir que o universo sempre existiu?

Toda cultura tem um mito sobre o mundo antes da criação e da criação do mundo, muitas vezes com o acasalamento dos deuses ou a incubação do ovo cósmico. É comum a concepção ingênua do universo como o seguimento de um precedente humano ou animal. Eis, por exemplo, cinco pequenos excertos desses mitos, em diferentes níveis de sofisticação, da bacia do Pacífico:

> Bem no começo tudo estava em repouso numa escuridão perpétua; a noite oprimia tudo como se fosse impenetrável matagal.
>
> O mito do Grande Pai do povo aranda, da Austrália Central

> Tudo estava em suspenso, tudo tranquilo, tudo em silêncio; tudo parado e imóvel; e a amplidão do céu estava vazia.
>
> *Popol Vuh*, dos maias quichés

> Na Arean estava sozinho no espaço como uma nuvem que flutua no nada. Não dormia, porque não existia sono; não tinha fome, pois então ainda não havia fome. Assim permaneceu por muito tempo, até que um pensamento lhe veio à mente. Disse a si mesmo: "Vou fazer uma coisa".
>
> Mito dos maianas, das ilhas Gilbert

> Primeiro havia o grande ovo cósmico. Dentro do ovo havia o caos, e flutuando no caos estava P'an Ku, o Não Desenvolvido, o divino Embrião. E P'an Ku irrompeu do ovo, quatro vezes maior que qualquer homem atual, com um martelo e um cinzel na mão, com os quais modelou o mundo.
>
> Mitos de P'an Ku, China (por volta do século III)

> Antes que se formassem a terra e o céu, tudo era vago e amorfo [...]. Aquilo que era claro e leve elevou-se para se tornar céu, enquanto o que era pesado e túrbido se solidificou para se tornar terra. Para o material puro e fino foi muito fácil se juntar, mas foi muito difícil o material pesado e túrbido se solidificar. Por isso o céu se completou primeiro e a terra assumiu sua forma depois. Quando céu e terra foram unidos no vazio e tudo era simplicidade em estado bruto, as coisas passaram a existir sem terem sido criadas. Essa foi a Grande Unicidade. Todas as coisas emanaram dessa Unicidade, porém todas ficaram diferentes.
>
> Huai-nan Tzu, China (por volta do século I a.C.)

Esses mitos são tributos à audácia humana. A principal diferença entre eles e nosso mito moderno do Big Bang é que a ciência se autoquestiona, e que podemos realizar experimentos e observações para testar nossas ideias. Mas essas outras histórias da criação merecem nosso profundo respeito.

Toda cultura humana se regozija com o fato de que existem ciclos na natureza. Mas como, assim se pensava, poderiam existir esses ciclos a menos que os deuses os quisessem? E se existem ciclos na era dos seres humanos, não poderia haver ciclos nos éons dos deuses? A religião hindu é a única entre as grandes crenças do mundo que cultiva a ideia de que o próprio cosmos passa por um imenso, na verdade infinito, número de mortes e renascimentos. É a única religião na qual a escala do tempo corresponde, sem dúvida por acaso, à da moderna cosmologia científica. Seus ciclos vão desde um dia e noite normal a um dia e noite de Brahma, com 8,64 bilhões de anos, mais longo do que a idade da Terra ou do Sol, e cerca de metade do tempo transcorrido desde o Big Bang. E há escalas do tempo ainda mais longas.

Existe uma profunda e atraente ideia de que o universo não é nada mais que o sonho de um deus, sonho que, após cem anos de Brahma, se dissolverá num sono sem sonhos. O universo se dissolverá junto com ele até que — após mais um século de Brahma — o deus se espreguice, se recomponha e comece de novo a sonhar o grande sonho cósmico. Enquanto isso, alhures, há um número infinito de outros universos, sendo cada um deles o sonho cósmico de seu próprio deus. Essas grandes ideias são temperadas por outra, talvez ainda mais notável. Diz-se que os homens podem não ser os sonhos dos deuses, mas sim que os deuses são os sonhos dos homens.

Na Índia há muitos deuses, cada qual com muitas manifestações. Os bronzes do período Chola, fundidos no século XI, incluem várias encarnações diferentes do deus Shiva. A mais elegante e sublime entre elas é uma representação da criação do universo no início de cada ciclo cósmico, motivo conhecido como a dança cósmica de Shiva. O deus, que nessa manifestação se chama Nataraja, o Rei da Dança, tem quatro mãos. Na mão direita superior há um tambor cujo som é o da criação. Na mão esquerda superior há uma língua de fogo, um lembrete de que o universo, agora recém-criado, será, daqui a bilhões de anos, destruído.

Essas imagens profundas e encantadoras são, assim gosto de imaginar, uma espécie de premonição das ideias astronômicas modernas.[3] É muito provável que o universo venha se

expandindo desde o Big Bang, mas não está claro de modo algum que continuará a se expandir para sempre. A expansão pode ir diminuindo devagar, parar e se reverter. Se houver no universo menos do que certa quantidade crítica de matéria, a gravitação das galáxias que se afastam umas das outras será insuficiente para deter a expansão e ele se esvairá para sempre. Porém se houver mais matéria do que a que conseguimos ver — oculta em buracos negros, digamos, ou num gás quente mas invisível entre as galáxias —, então o universo se manterá gravitacionalmente unido e participará numa muito indiana sucessão de ciclos, expansão seguida de contração, universo sobre universo, um cosmos sem fim. Se vivemos num universo assim oscilante, o Big Bang, então, não seria a criação do cosmos, mas apenas o fim de um ciclo anterior, a destruição da última encarnação do cosmos.

Talvez nenhuma dessas cosmologias modernas seja de nosso total agrado. Em uma, o universo é criado, de algum modo, 10 bilhões ou 20 bilhões de anos atrás e se expande para sempre, as galáxias se afastando umas das outras, até que a última desapareça de nosso horizonte cósmico. Então nossos astrônomos galácticos estarão desempregados, as estrelas vão esfriar e morrer, a própria matéria decairá e o universo se tornará uma névoa rala e fria de partículas elementares. Na outra, a do universo oscilante, o cosmos não tem início nem fim, e estamos no meio de um ciclo infinito de mortes e renascimentos cósmicos sem qualquer informação emanando dos pontos de inflexão da oscilação. Nada das galáxias, estrelas, planetas, formas de vida ou civilizações envolvidas na encarnação anterior do universo escorre pelo ponto de inflexão, atravessa o Big Bang para vir a ser conhecido no universo atual. A sina do universo em qualquer dessas cosmologias parece ser um pouco deprimente, mas podemos nos consolar com as escalas de tempo envolvidas. Esses eventos transcorrem em dezenas de bilhões de anos, ou mais. Seres humanos e nossos descendentes, onde quer que possam estar, podem fazer muita coisa em dezenas de bilhões de anos, antes que o universo morra.

Se o universo de fato oscila, aparecem questões ainda mais estranhas. Alguns cientistas pensam que quando a expansão é seguida de contração, quando os espectros de galáxias distantes têm desvio para o azul, a causalidade será invertida e efeitos precederão as causas. Primeiro as ondas de choque se afastam de um ponto na superfície da água e depois disso é que atiro a pedra que atingirá aquele ponto. Uma tocha irrompe em chamas primeiro, depois a acendo. Não podemos fingir que entendemos o que significa essa inversão na causalidade. Será que então as pessoas nascerão em seu túmulo e morrerão no útero materno? O tempo correrá para trás? Essas questões têm algum significado?

Cientistas se perguntam o que acontecerá, num universo em oscilação, nos pontos de inflexão, na transição da contração para a expansão. Alguns acham que as leis da natureza são então remodeladas de maneira aleatória, que o tipo de física e de química que ordena este mundo representa apenas um numa abrangência infinita de possíveis leis da natureza. É fácil ver que apenas um âmbito muito restrito destas é consistente com a existência de galáxias, estrelas, planetas, vida e inteligência. Se as leis da natureza são rearrumadas de maneira imprevisível nos pontos de inflexão, seria uma coincidência extraordinária se o caça-níqueis cósmico viesse com um universo consistente com o que somos hoje.[4]

Será que vivemos num universo que se expande para sempre ou num em que há uma série infinita

de ciclos? Existem meios para se descobrir: fazendo um censo acurado da quantidade total de matéria no universo ou observando a beirada do cosmos.

Radiotelescópios podem detectar objetos muito tênues, muito distantes. Quando olhamos bem fundo no espaço, também estamos olhando para trás no tempo. O mais próximo dos quasares talvez esteja a uma distância de meio bilhão de anos-luz. Porém se virmos um objeto que está a uma distância de 12 bilhões de anos-luz, nós o estaremos vendo como era há 12 bilhões de anos. Ao olhar para longe no espaço estaremos olhando também para um passado distante, de volta ao horizonte do universo, de volta à época do Big Bang.

O sistema chamado Very Large Array (VLA) é um conjunto de 27 radiotelescópios separados, numa região remota do estado do Novo México, nos Estados Unidos. É uma matriz em fase, os telescópios individuais conectados eletronicamente, como se constituíssem um único telescópio do mesmo tamanho até nos seus elementos mais remotos, como se fossem um radiotelescópio com dezenas de quilômetros de extensão. O VLA é capaz de resolver ou discriminar detalhes sutis nas regiões de rádio do espectro, de maneira comparável ao que os maiores telescópios com base no solo podem fazer nas regiões ópticas do espectro.

Às vezes esses radiotelescópios estão conectados com telescópios no outro lado do diâmetro terrestre — em certo sentido, um telescópio do tamanho do planeta. No futuro poderemos ter telescópios na órbita da Terra, de um e do outro lado do Sol, na verdade um radiotelescópio do tamanho do sistema solar interior. Esses telescópios poderiam revelar a estrutura interna e a natureza dos quasares. Talvez se descubra uma unidade-padrão de luminosidade dos quasares e a distância até eles possa ser determinada independentemente de seu desvio para o vermelho. Ao se compreender a estrutura e o desvio para o vermelho dos quasares mais distantes, talvez seja possível ver se a expansão do universo era mais rápida bilhões de anos atrás, se ela está ficando mais lenta, se o universo um dia entrará em colapso.

Radiotelescópios modernos são bastante sensíveis; um quasar distante é tão tênue que sua radiação detectada é de talvez um quadrilionésimo de watt. A quantidade total de energia de fora do sistema solar recebida ao longo do tempo por todos os radiotelescópios no planeta Terra é menor do que a energia de um único floco de neve que atinge seu solo. Ao detectar a radiação cósmica de fundo, ao contar os quasares, ao buscar sinais inteligentes no espaço, os radioastrônomos estão lidando com quantidades de energia que quase não estão lá.

Alguma matéria, em especial a matéria nas estrelas, brilha com luz visível e é fácil de ver. Outros tipos de matéria, gás e poeira na periferia das galáxias, por exemplo, não são detectados com tanta facilidade. Não emitem luz visível, embora pareçam emitir ondas de rádio. Esse é um motivo pelo qual o desvendamento dos mistérios cosmológicos exige que usemos frequências diferentes das da luz visível, às quais nossos olhos são sensíveis. Observatórios na órbita da Terra descobriram um brilho intenso de raios X entre as galáxias. Primeiro pensou-se que era hidrogênio intergaláctico quente, uma quantidade imensa nunca antes vista, talvez suficiente para fechar o cosmos e assegurar que estamos presos num universo oscilante. Porém observações mais recentes de Ricardo Giacconi podem ter localizado o brilho de raio X em pontos individuais, talvez uma horda imensa de quasares distantes. Eles também contribuem com massa para o universo, antes desconhecida.

Quando se completar o inventário cósmico e for somada a massa de todas as galáxias, quasares, buracos negros, hidrogênio intergaláctico, ondas gravitacionais e habitantes ainda mais exóticos do espaço, saberemos em que tipo de universo habitamos.

Quando discutem a estrutura em grande escala do cosmos, astrônomos gostam de dizer que o espaço é curvo, ou que o cosmos não tem um centro, ou que o universo é finito, porém sem limites. Do que será que estão falando? Imaginemos que habitamos um país estranho onde todo mundo é achatado. Acompanhando Edwin Abbott, um erudito shakespeariano que viveu na Inglaterra vitoriana, vamos chamá-lo de Planolândia. Alguns de nós são quadrados; alguns são triângulos; alguns têm formatos mais complexos. Ficamos correndo, entrando e saindo de nossos prédios achatados, ocupados em nossos negócios e namoricos chatos. Todos em Planolândia têm comprimento e largura, mas nenhuma altura. Sabemos o que é direita e esquerda, para a frente e para trás, mas não temos ideia, a mais remota compreensão, do que é em cima e embaixo, exceto os matemáticos achatados. Eles dizem: “Ouçam, na verdade é muito fácil. Imagine direita-esquerda. Imagine frente-trás. Até aqui tudo bem? Agora imagine outra dimensão, em ângulo reto com as outras duas”. E dizemos: “Do que você está falando? ‘Em ângulo reto com as outras duas!’ Só *existem* duas dimensões. Mostre essa terceira dimensão. Onde ela está?”. E assim os matemáticos, desanimados, vão embora. Ninguém dá atenção aos matemáticos.

Cada criatura quadrada em Planolândia enxerga outro quadrado como sendo um segmento de reta, que é o lado do quadrado que está a seu lado. Ele poderá ver outro lado do quadrado se fizer uma pequena caminhada. Mas o *interior* do quadrado será para sempre um mistério, a menos que um acidente terrível ou uma autópsia rompa os lados e exponha as partes interiores.

Um dia, uma criatura tridimensional — digamos, na forma de uma maçã — aparece em Planolândia, pairando acima dela. Ao observar um quadrado especialmente atraente e de aparência agradável entrando em sua casa achatada, a maçã decide, num gesto de amizade interdimensional, dizer alô. “Como vai?”, pergunta a visitante da terceira dimensão. “Sou uma visitante da terceira dimensão.” O pobre do quadrado procura em toda a casa e não vê ninguém. Pior ainda, ele tem a impressão de que a saudação, que vem de cima, está saindo de seu próprio corpo achatado, uma voz de dentro. Uma leve insanidade, ele talvez se lembre, corajosamente, que grassa na família.

Irritada por ter sido considerada uma aberração psicológica, a maçã baixa e pousa em Planolândia. Agora uma criatura tridimensional pode estar presente em Planolândia, mas apenas em parte; só um corte transversal dela é visível, apenas os pontos que estão em contato com a superfície plana de Planolândia. Uma maçã que atravessasse o plano de Planolândia seria vista primeiro como um ponto e depois como fatias planas mais ou menos circulares, aumentando progressivamente. O quadrado veria aparecer um ponto num espaço fechado em seu mundo bidimensional, crescendo devagar no formato aproximado de um círculo. Uma criatura com uma forma estranha e mutante apareceu de lugar nenhum.

Rejeitada, insatisfeita com essa obtusidade do totalmente achatado, a maçã dá um tranco no quadrado e o manda pelos ares, flutuando e girando nessa misteriosa terceira dimensão. No início o quadrado não tem noção do que está acontecendo; é algo alheio a sua experiência. Mas depois ele se dá conta de que está vendo Planolândia de uma posição privilegiada: “de cima”. Pode ver o que

está dentro de espaços fechados. O interior de seus colegas achatados. Está vendo seu universo de uma singular e devastadora perspectiva. Viajar por outra dimensão provê, como benefício incidental, uma espécie de visão de raio X. Depois, como uma folha que cai, nosso quadrado pousa devagar na superfície. Do ponto de vista de seus colegas planolandeses, ele tinha desaparecido inexplicavelmente de um espaço fechado e depois, de maneira assustadora, se materializado de lugar nenhum. "Pelo amor de Deus", dizem eles, "o que aconteceu com você?" "Acho", ele se vê respondendo, "que eu estava 'lá em cima'." Eles dão umas palmadinhas em seus lados para reconfortá-lo. Delírios são comuns em sua família.

Nessas contemplações interdimensionais, não precisamos nos restringir a duas dimensões. Podemos, acompanhando Abbott, imaginar um mundo de uma só dimensão, onde todo mundo é um segmento de linha, ou mesmo um mundo mágico de criaturas de dimensão zero, os pontos. Mas o mais interessante seria entrar na questão de dimensões superiores. Poderia existir uma quarta dimensão física?[5]

Vamos imaginar a geração de um cubo da seguinte maneira: pegue um segmento de reta de certo comprimento e o desloque por uma unidade de comprimento perpendicularmente a si mesmo. Isso cria um quadrado. Desloque o quadrado na mesma unidade de comprimento de seu lado em ângulo reto consigo mesmo, e temos um cubo. Podemos entender esse cubo como projetando uma sombra, a qual costumamos desenhar como dois quadrados com seus vértices ligados. Se examinarmos a sombra de um cubo em duas dimensões, notamos que nem todas as linhas parecem iguais, nem todos os ângulos são retos. O objeto tridimensional não foi representado com perfeição em sua transfiguração para duas dimensões. Esse é o preço de se perder uma dimensão numa projeção geométrica. Agora vamos pegar nosso cubo tridimensional e movê-lo, num ângulo reto consigo mesmo, por uma quarta dimensão física: não direita-esquerda, não frente-trás, não em cima-embaixo, mas ao mesmo tempo em ângulos retos com todas essas direções. Não posso mostrar que direção seria essa, mas posso imaginar que ela exista. Nesse caso, teríamos gerado um hipercubo quadridimensional, também chamado de tesserato, ou octácoro. Não sei como mostrar um tesserato a vocês, porque estamos presos em três dimensões. O que posso mostrar é a sombra, em três dimensões, de um tesserato. É parecida com dois cubos interligados, todos os seus vértices ligados por linhas. Mas num tesserato real, em quatro dimensões, todas essas linhas seriam de igual comprimento e todos os ângulos seriam retos.

Imagine um universo parecido com Planolândia, exceto que, sem o conhecimento de seus habitantes, esse universo bidimensional seja encurvado num âmbito físico tridimensional. Quando os planolandeses saem em excursões curtas, seu universo parece ser bastante achatado. Mas se um deles fizer uma longa caminhada pelo que lhe parece uma linha reta, ele depara com um grande mistério: embora não tenha chegado a uma barreira e nunca tivesse mudado de direção, ele de algum modo voltou ao lugar de onde tinha partido. Seu universo bidimensional deve ter sido deformado, dobrado ou encurvado numa misteriosa terceira dimensão. Ele não consegue imaginar uma terceira dimensão, mas pode deduzir sua existência. Aumente todas as dimensões dessa história acrescentando uma dimensão e terá uma situação que se aplica a nosso caso.

Onde fica o centro do cosmos? O universo tem uma margem ou beirada? O que existe além dela?

Num universo bidimensional encurvado em forma de esfera num espaço tridimensional, não existe um centro — pelo menos não na superfície da esfera. O centro de tal universo não está *no* universo; ele está, inacessível, na terceira dimensão, *dentro* do espaço no interior da esfera. Como toda a área do universo está na superfície da esfera, esse universo não tem uma margem, ou beira — ele é finito, mas não tem um limite. E a questão de o que existe além dele não tem sentido. Criaturas achatadas não podem, por si mesmas, escapar de suas duas dimensões.

Acrescente a tudo isso uma dimensão e terá a situação que se aplica a nosso caso: o universo como uma hiperesfera de quatro dimensões, sem um centro e sem uma margem ou beira, e nada além dele. Por que todas as galáxias parecem estar se afastando de *nós*? A hiperesfera se está expandindo a partir de um ponto, como um balão quadridimensional que está sendo inflado, criando a cada instante mais espaço no universo. Às vezes, após o início da expansão, galáxias se condensam e são carregadas para fora na superfície da hiperesfera. Em cada galáxia há astrônomos, e a luz que eles veem também está presa na superfície curva da hiperesfera. À medida que a esfera se expande, um astrônomo em qualquer galáxia vai pensar que as outras galáxias estão se afastando dele. Não há referenciais privilegiados.[6] Quanto mais afastada a galáxia, mais rápida é sua recessão. As galáxias estão incorporadas, anexadas ao espaço, e a tessitura do espaço está se expandindo. E a resposta à pergunta “Onde no universo atual ocorreu o Big Bang?” é, claramente: “Em toda parte”.

Se não existe matéria suficiente que permita ao universo se expandir para sempre, deve haver um formato aberto, encurvado como uma sela com uma superfície que se estende ao infinito, em nossa analogia tridimensional. E se existe matéria suficiente, ela tem então um formato fechado, encurvado como uma esfera em nossa analogia tridimensional. Se o universo é fechado, a luz está presa dentro dele. Na década de 1920, numa direção oposta à de M31, observadores descobriram um par distante de galáxias espirais. Seria possível, perguntaram-se, que estivessem vendo a Via Láctea e M31 a partir de outra direção — como seria ver a nossa nuca numa luz que deu uma volta inteira no universo? Sabemos agora que o universo é muito maior do que eles imaginavam na década de 1920. Levaria mais tempo do que a idade do universo para a luz circum-navegá-lo. E as galáxias são mais jovens do que o universo. Mas se o cosmos é fechado e a luz não pode escapar dele, será então perfeitamente correto descrever o universo como sendo um buraco negro. Se você quer saber como são as coisas dentro de um buraco negro, olhe a sua volta.

Mencionamos antes a possibilidade de haver buracos de vermes que passam de um lugar a outro do universo sem cobrir a distância entre eles — através de um buraco negro. Podemos imaginar esses buracos de vermes como tubos que atravessam uma quarta dimensão física. Não sabemos se eles existem. Mas se existem, darão necessariamente em outro lugar de nosso universo? Ou seria apenas possível que buracos de verme se conectassem com outros universos, lugares que de outra forma nos seriam para sempre inacessíveis? Ao que sabemos, podem existir muitos outros universos. Talvez estejam, em certo sentido, encaixados um dentro do outro.

Existe uma ideia — estranha, perturbadora, instigante — que é uma das mais requintadas conjecturas na ciência ou na religião. É totalmente não demonstrada; talvez nunca seja provada. Mas é de gelar o sangue. Existe, assim nos dizem, uma hierarquia infinita de universos, de modo que uma partícula elementar, como um elétron em nosso universo, poderia, se nela penetrássemos, se

revelar como um universo inteiro e fechado. Dentro dele, organizadas no equivalente local de galáxias e estruturas menores, há um número imenso de outras, muito menores, partículas elementares — numa regressão descendente infinita, universos dentro de universos, interminavelmente. Assim como no sentido ascendente. Nosso universo familiar de galáxias e estrelas, planetas e pessoas seria uma única partícula elementar do universo acima do nosso na escala, para este o primeiro passo de uma regressão infinita.

Essa é a única ideia religiosa que conheço a ultrapassar o número infindável de infinitamente antigos universos cíclicos da cosmologia hindu. Como seriam esses outros universos? Seriam baseados em leis da física diferentes? Teriam estrelas, galáxias e mundos, ou algo bem diferente? Poderiam ser compatíveis com alguma forma diferente e inimaginável de vida? Para penetrar neles teríamos que, de algum modo, penetrar numa quarta dimensão física — empreendimento nada fácil, com certeza, mas talvez um buraco negro provesse um caminho. Pode haver pequenos buracos negros nas vizinhanças do Sol. Postados na beira da eternidade, poderíamos saltar…

---

* Em publicação recente no *Astrophysical Journal*, Lepine, Michtchenko, Barros e Vieira, do Instituto de Astronomia da USP, constataram que o sistema solar nunca entra nos braços espirais, podendo esse ser um fator fundamental para o surgimento e para a manutenção da vida na Terra. (N. R. T.)

** Evidências historiográficas recentes apontam que o padre belga Georges Lemaître observou e publicou um trabalho mostrando o mesmo fenômeno anos antes de Hubble e Humason. (N. R. T.)

*** O estudo da radiação cósmica de fundo rendeu a George Smoot e a John Mather o prêmio Nobel de física em 2006. (N. R. T.)

**** As pesquisas recentes mostram um universo completamente consistente com a hipótese de um Big Bang simples. (N. R. T.)

11. A persistência da memória

Agora que os destinos do Céu e da Terra foram determinados;
Que se deu a calha e canal seus cursos próprios;
As margens do Tigre e do Eufrates
foram estabelecidas;
Que mais devemos fazer?
Que mais vamos criar?
Oh Anunaki, grandes deuses do céu,
que mais devemos fazer?

Relato assírio da criação do homem, 800 a.C.

Quando ele, fosse ele dos deuses quem fosse, pôs assim em ordem e resolveu aquela massa caótica, e a reduziu, assim resolvida, a partes cósmicas, ele primeiro modelou a Terra na forma de uma grande bola, de modo que tivesse o mesmo formato de todos os lados [...]. E cuidou de que nenhuma região estivesse sem suas próprias formas de vida animada, que as estrelas e formas divinas ocupassem o assoalho do céu, que o mar se tornasse a casa dos peixes brilhantes, que a Terra recebesse os animais, e o movente ar os pássaros [...]. Então nasceu o homem: [...] embora todos os outros animais se prostrem e fixem seu olhar na terra, ele deu ao homem um rosto erguido e uma postura ereta, e os olhos voltados para o céu.

Ovídio, *Metamorfoses*, Roma, século I

Na grande escuridão cósmica há incontáveis estrelas e planetas, mais jovens e mais velhos que nosso sistema solar. Embora não possamos ter certeza, os mesmos processos que levaram a Terra à evolução da vida e da inteligência devem ter operado por todo o cosmos. Só na galáxia da Via Láctea pode haver 1 milhão de mundos habitados neste momento por seres muito diferentes de nós e muito mais avançados. Ter grande conhecimento não é a mesma coisa que ser inteligente; inteligência não é apenas informação, mas também critério, o modo como a informação é coordenada e utilizada. Então, a quantidade de informação à qual se tem acesso é um dos índices de nossa inteligência. O padrão de medida, a unidade de informação, é uma coisa chamada bit (do inglês *binary digit*, dígito binário). É uma resposta — ou sim ou não — a uma pergunta inequívoca. A resposta específica à questão de se uma lâmpada está acesa ou apagada requer um único bit de informação. Para designar uma letra entre as 26 do alfabeto latino são precisos cinco bits ($2^5 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$, que é mais do que 26). A informação verbal contida neste livro representa um pouco menos de 10 milhões de bits, 10^7. O número total de bits que caracterizam um programa de TV com uma hora de duração é de cerca de 10^{12}. A informação contida em palavras e figuras dos diferentes livros em todas as bibliotecas da Terra tem algo como 10^{16} ou 10^{17} bits.[1] Claro que muito dessa informação é redundante. Esse número calibra de maneira crua a quantidade de conhecimento humano. Mas em outros lugares, em mundos mais antigos, onde a vida evoluiu

bilhões de anos antes do que na Terra, talvez o conhecimento se meça em 10^{20} bits ou 10^{30} — não só mais quantidade de informação como também informação significativamente diferente.

Desses milhões de mundos habitados por inteligências avançadas, considere um planeta raro, o único em seu sistema com um oceano de água em estado líquido na superfície. Nesse rico meio ambiente aquático vivem muitas criaturas mais ou menos inteligentes — algumas com oito tentáculos para agarrar coisas; outras que se comunicam entre si mudando um intricado padrão mosqueado de claro e escuro em seus corpos; até criaturas inteligentes do continente que fazem breves incursões no oceano em embarcações de madeira ou metal. Mas estamos buscando as inteligências dominantes, das maiores criaturas do planeta, as sencientes e graciosas senhoras do oceano profundo, a grandes baleias.

Elas são os maiores animais[2] que evoluíram no planeta Terra em todos os tempos, muito maiores que os dinossauros. Uma baleia-azul pode chegar a trinta metros de comprimento e pesar 150 toneladas. Muitas, em especial as baleias-de-barbatana, são plácidas navegadoras, percorrendo grandes volumes de oceano em busca dos pequenos animais que lhes servem de pasto; outras comem peixes e krill. As baleias são recém-chegadas no oceano. Há apenas 70 milhões de anos seus ancestrais eram mamíferos carnívoros que migraram em lentas etapas do continente para o oceano. Entre as baleias, as mães amamentam seus filhotes e cuidam deles com carinho. Há um longo período de infância no qual as adultas educam as mais jovens. Brincadeiras são um passatempo típico. São características de mamíferos, muito importantes para o desenvolvimento da inteligência.

O mar é turvo. Visão e olfato, que funcionam bem nos mamíferos terrestres, não são muito úteis nas profundezas do oceano. Os ancestrais das baleias, que se valiam desses sentidos na localização de um parceiro para acasalamento, ou um filhote, ou um predador, não deixaram muitos descendentes. Assim, um novo método foi aperfeiçoado pela evolução: ele funciona bastante bem e é fundamental para toda compreensão das baleias: o sentido do som. Alguns sons emitidos pelas baleias são chamados de canções, mas ainda ignoramos sua verdadeira natureza e significado. Abrangem uma extensa banda de frequências e chegam bem abaixo do mais grave som que o ouvido humano é capaz de captar. Uma típica canção de baleia dura pelo menos quinze minutos, e a mais longa, cerca de uma hora. Muitas vezes é repetida, idêntica, cadência por cadência, compasso por compasso, nota por nota. Pode acontecer de um grupo de baleias deixar suas águas de inverno no meio de uma canção e seis meses depois a retomar exatamente na mesma nota, como se não tivesse havido interrupção. Baleias são muito boas em lembrar. Com muita frequência, ao voltarem, o vocalise mudou. Novas canções surgem na parada de sucessos cetácea.

É muito comum os membros do grupo cantarem juntos a mesma canção. Por algum consenso entre eles, alguma autoria cooperativa de canções, a peça muda de mês em mês, lenta e previsivelmente. Essas vocalizações são complexas. Se as canções das baleias jubarte são expressas numa linguagem tonal, a informação total que contêm, o número de bits de informação dessas canções, é de 10^6 bits, mais ou menos a mesma informação contida na *Ilíada* ou na *Odisseia*. Não sabemos o que as baleias ou seus primos, os golfinhos, têm a dizer ou cantar. Não têm órgãos de manipulação, não fazem construções de engenharia, mas são criaturas sociais. Caçam, nadam,

pescam, navegam, brincam, se acasalam, fazem travessuras, fogem de predadores. Há muito a se falar sobre elas.

O perigo primordial para as baleias é um recém-chegado, um animal arrivista, que só há pouco tempo, usando tecnologia, adquiriu competência para atuar no oceano, uma criatura que chama a si mesma de ser humano. Durante 99,99% da história das baleias não havia seres humanos no oceano profundo. Durante esse período as baleias desenvolveram seu extraordinário sistema de comunicação auditiva. As baleias-azuis, por exemplo, emitem sons em volume muito alto à frequência de vinte hertz, uma oitava abaixo que a mais baixa oitava no teclado de um piano. (O hertz é a unidade de frequência de som que representa uma onda sonora, uma crista e um vale, que penetra no ouvido a cada segundo.) Esses sons de baixa frequência quase não são absorvidos no oceano. O biólogo americano Roger Payne calculou que, usando o oceano profundo como canal de som, duas baleias podem se comunicar entre si a uma frequência de vinte hertz essencialmente em qualquer lugar do mundo. Uma pode estar ao largo da Prateleira de Gelo de Ross, na Antártida, e se comunicar com outras, nas ilhas Aleutas. Durante a maior parte de sua história as baleias podem ter estabelecido uma rede de comunicação global. Talvez separados por 15 mil quilômetros, seus vocalises são canções de amor que percorrem, esperançosas, a vastidão das profundezas.

Durante dezenas de milhões de anos essas criaturas enormes, inteligentes e comunicativas evoluíram sem ter na verdade inimigos naturais. Depois, o desenvolvimento dos barcos a vapor no século XIX introduziu uma abominável fonte de poluição sonora. Quando naves comerciais e militares ficaram mais abundantes, o ruído de fundo nos oceanos, em especial a uma frequência de vinte hertz, tornou-se perceptível. As baleias devem ter experimentado crescentes dificuldades em suas comunicações através do oceano. A distância através da qual são capazes de se comunicar deve ter diminuído de maneira constante. Duzentos anos atrás, a distância típica através da qual baleias-azuis eram capazes de se comunicar era de 10 mil quilômetros. Hoje, talvez seja de algumas centenas de quilômetros. Será que as baleias se conhecem por nomes? Será que podem se reconhecer individualmente apenas pelos sons? Desligamos as baleias umas das outras. Criaturas que se comunicaram durante dezenas de milhões de anos foram agora silenciadas.[3]

E fizemos pior do que isso, porque hoje se continua a traficar corpos mortos desses animais. Há seres humanos que caçam e matam baleias e as comerciam para a fabricação de batom ou lubrificantes industriais. Muitas nações compreendem que o assassinato sistemático dessas criaturas inteligentes é monstruoso, mas o tráfico permanece, promovido sobretudo por Japão, Noruega e União Soviética. Nós, seres humanos, como espécie, interessamo-nos por uma comunicação com inteligências extraterrestres. Não seria um bom começo melhorar a comunicação com inteligências terrestres, com outros seres humanos de culturas e línguas diferentes das nossas, com os grandes hominídeos, os golfinhos, mas em especial com essas inteligentes senhoras das profundezas, as baleias?

Para uma baleia viver ali, há muitas coisas que ela tem de saber fazer. Esse conhecimento é armazenado em seus genes e em seu cérebro. A informação genética inclui como converter plâncton em banha; ou como prender a respiração num mergulho um quilômetro abaixo da superfície. A informação no cérebro, a informação aprendida, inclui coisas tais como saber quem é

sua mãe ou o que significa a canção que você está ouvindo agora. A baleia, como todos os outros animais na Terra, tem uma biblioteca nos genes e uma biblioteca no cérebro.

Seu material genético, como o do ser humano, é feito de ácidos nucleicos, essas moléculas extraordinárias capazes de se reproduzir a partir dos blocos de construção de natureza química que as cercam e de tornar informação hereditária em ação. Por exemplo, uma enzima da baleia, idêntica à que você tem em cada célula de seu corpo, chama-se hexoquinase, primeira das mais de duas dúzias de etapas, mediadas por enzimas, requeridas para converter uma molécula de açúcar obtida no plâncton da dieta em um pouco de energia — talvez uma contribuição para uma única nota de baixa frequência na música das baleias.

A informação armazenada na dupla hélice do DNA de uma baleia, de um ser humano ou de qualquer outro animal ou vegetal na Terra está escrita numa linguagem de quatro letras — os quatro diferentes tipos de nucleotídeos, os componentes moleculares que constituem o DNA. Quantos bits de informação estão contidos no material hereditário de várias formas de vida? Quantas respostas tipo sim/não às várias perguntas biológicas estão escritas na linguagem da vida? Um vírus precisa de 10 mil bits — mais ou menos o equivalente à quantidade de informação contida nesta página. Mas a informação viral é simples, muitíssimo compacta, extraordinariamente eficiente. Sua leitura requer muita atenção. São as instruções de que ele precisa para infectar outro organismo e se reproduzir — única coisa na qual os vírus são bons. Uma bactéria utiliza mais ou menos 1 milhão de bits de informação — que corresponderiam a cem páginas impressas. Bactérias têm muito mais coisas a fazer do que vírus. Ao contrário deles, elas não são parasitas consumados. Têm de ganhar a vida. E uma ameba unicelular em nado livre é muito mais sofisticada; com cerca de 400 milhões de bits em seu DNA, seriam necessários oitenta volumes com quinhentas páginas cada um para fazer outra ameba.

Uma baleia ou um ser humano precisam de algo como 5 bilhões de bits. Os 5×10^9 bits de informação em nossa enciclopédia da vida — no núcleo de cada uma de nossas células —, se escritos, digamos, em inglês, encheriam mil volumes. Cada um de seus 100 trilhões de células contém toda uma biblioteca de instruções sobre como fazer cada parte de você. Cada célula em seu corpo surge de divisões sucessivas de uma única célula, um ovo fertilizado gerado por seus pais. Toda vez que uma célula se divide, nas muitas etapas embriológicas que formarão você, o conjunto original de instruções genéticas é duplicado com grande fidelidade. Assim, as células de seu fígado têm instruções, não utilizadas, de como fazer as células de seus ossos e vice-versa. A biblioteca genética contém tudo que seu corpo sabe sobre o que fazer consigo mesmo. A informação primitiva está escrita em exaustivos, cuidadosos e redundantes detalhes — como rir, como espirrar, como caminhar, como reconhecer padrões, como reproduzir, como digerir uma maçã.

Comer uma maçã é um processo muitíssimo complicado. Na verdade, se eu tivesse de sintetizar minhas próprias enzimas, se tivesse de, *conscientemente*, lembrar e direcionar todos os passos químicos necessários para obter energia do alimento, é provável que morresse de fome. Mas até bactérias realizam glicólise anaeróbica, e é por isso que as maçãs apodrecem: hora do almoço para os micróbios. Eles, nós e todas as criaturas intermediárias temos muitas instruções genéticas semelhantes. Nossas bibliotecas de genes separadas têm muitas páginas em comum, outro lembrete

de nossa herança evolucionária comum. Nossa tecnologia só é capaz de duplicar uma pequena fração da intricada bioquímica que nosso corpo realiza sem esforço: apenas começamos a estudar esses processos. A evolução, no entanto, tem bilhões de anos de prática. O DNA sabe disso.

Porém suponha que o que você tem de fazer seja tão complicado que mesmo vários bilhões de bits não sejam suficientes. Suponha que o meio ambiente estava mudando com tanta rapidez que a enciclopédia genética, pré-codificada, que antes servia bastante bem, não é mais adequada. Que mesmo uma biblioteca genética com mil volumes não seja o bastante. É por isso que temos cérebro.

Como todos os nossos órgãos, o cérebro evoluiu, aumentando sua complexidade e seu conteúdo informacional, ao longo de milhões de anos. Sua estrutura reflete os estágios pelos quais passou. O cérebro evoluiu de dentro para fora. Em seu interior, bem fundo, está a parte mais antiga, o tronco cerebral, ou encefálico, que conduz as funções biológicas básicas, entre elas os ritmos da vida — a pulsação cardíaca e a respiração. Segundo um provocador insight de Paul MacLean,* as funções mais elevadas do cérebro evoluíram em três estágios sucessivos. Recobrindo o tronco encefálico está o complexo-R, o lugar da agressão, do ritual, da territorialidade e da hierarquia social, que evoluiu há milhões de anos em nossos ancestrais reptilianos. Bem fundo dentro do crânio de cada um de nós existe algo como o cérebro de um crocodilo. Em torno do complexo-R fica o sistema límbico, ou cérebro mamífero, que evoluiu dezenas de milhões de anos atrás em ancestrais que eram mamíferos, mas ainda não primatas. É fonte importante de nossos estados de espírito e emoções, de nossas preocupações e cuidados com os jovens.

E por fim, externamente, vivendo numa trégua inquieta com os cérebros mais primitivos que lhe estão abaixo, está o córtex cerebral, que evoluiu milhões de anos atrás em nossos ancestrais. O córtex cerebral, onde matéria é transformada em consciência, é o ponto de embarque em todas as nossas viagens cósmicas. Compreendendo mais de dois terços da massa cerebral, é o reino da intuição e da análise crítica. É onde temos ideias e inspirações, onde lemos e escrevemos, onde fazemos cálculos matemáticos e compomos música. O córtex regula nossa vida consciente. É distintivo de nossa espécie, a sede de nossa humanidade. A civilização é um produto do córtex cerebral.

A linguagem do cérebro não é a linguagem de DNA dos genes. Aquilo que sabemos está codificado em células chamadas neurônios — microscópicos elementos de comutação eletroquímica, em geral com um diâmetro de alguns centésimos de milímetro. Cada um de nós tem talvez 100 bilhões de neurônios, número comparável ao das estrelas na galáxia da Via Láctea. Muitos neurônios têm milhares de conexões com seus vizinhos. Existem algo como 100 trilhões, 10^{14}, dessas conexões num córtex cerebral humano.

Charles Sherrington imaginou como seriam as atividades no córtex cerebral quando despertamos do sono:

> [O córtex] torna-se agora um campo fervilhante de pontos que cintilam ritmicamente como comboios de centelhas a viajar, velozes, para lá e para cá. O cérebro está despertando, e com ele a mente está voltando. É como se a Via Láctea entrasse em alguma dança cósmica. Com rapidez [o córtex] torna-se um tear encantado onde milhões de lançadeiras faiscantes tecem um padrão sempre em dissolução, sempre significativo, embora nunca permanente; uma harmonia mutante de subpadrões. Agora que o corpo desperto se levanta, subpadrões dessa grande harmonia de atividade se estendem para baixo, às trilhas não iluminadas do [cérebro inferior].

Fieiras de centelhas faiscantes e semoventes engatam-se em suas conexões. Isso quer dizer que o corpo está de pé, erguendo-se para seu dia de vigília.

Mesmo durante o sono o cérebro está pulsando, palpitando e lampejando nesses afazeres complexos que constituem a vida humana — sonhando, lembrando, imaginando coisas. Nossos pensamentos, nossas visões e fantasias têm uma realidade física. Um pensamento é feito de centenas de impulsos eletroquímicos. Se encolhêssemos ao nível dos neurônios, poderíamos testemunhar padrões elaborados, intricados, evanescentes. Um deles talvez seja o faiscar da memória do aroma de lilases à beira de uma estrada no campo, na infância. Outro pode ser parte de um ansioso alerta geral: "Onde foi que deixei as chaves?".

Existem muitos vales entre as montanhas da mente, convoluções que aumentam de maneira extraordinária a área da superfície disponível para armazenamento de informação no córtex cerebral, num crânio cujo tamanho é limitado. A neuroquímica do cérebro é de uma atividade espantosa, circuitos de uma máquina que é mais maravilhosa do que qualquer uma concebida pelo homem. Mas não há evidência de que seu funcionamento se deva a algo além de suas 10^{14} conexões neurais que constroem uma elegante arquitetura de consciência. O mundo do pensamento divide-se, grosso modo, em dois hemisférios. O hemisfério direito do córtex cerebral é responsável sobretudo pelo reconhecimento de padrões, pela intuição, pela sensibilidade, por insights criativos. O hemisfério esquerdo preside o pensamente racional, analítico e crítico. Essas são as forças duais, os opostos essenciais, que caracterizam o pensamento humano. Juntos, provêm os meios tanto para a geração de ideias quanto para testar sua validade. Os hemisférios mantêm entre si um diálogo contínuo, transmitido por um imenso feixe de nervos, o corpo caloso, ponte entre criatividade e análise, ambas necessárias para a compreensão do mundo.

O conteúdo informacional do cérebro humano expresso em bits é talvez comparável ao número total de conexões entre neurônios — cerca de 100 trilhões, 10^{14}, de bits. Se fosse escrita, digamos, em inglês, essa informação preencheria cerca de 20 milhões de volumes, tantos quanto os que existem nas maiores bibliotecas do mundo. Dentro da cabeça de cada um de nós há o equivalente a 20 milhões de livros. O cérebro é um lugar muito grande num espaço muito pequeno. A maioria dos livros no cérebro está no córtex cerebral. Lá embaixo no porão estão as funções das quais dependiam sobretudo nossos ancestrais remotos — agressão, criação de filhos, medo, sexo, disposição para seguir cegamente seus líderes. Das funções do cérebro mais elevado, algumas — leitura, escrita, fala — parecem estar localizadas em lugares específicos do córtex. Memórias, por outro lado, estão armazenadas de modo redundante em muitos lugares. Se essa coisa chamada telepatia existisse, uma de suas glórias seria a oportunidade que cada um de nós teria de ler os livros que estão no córtex cerebral de nossos entes queridos. Mas não há uma evidência convincente de que exista telepatia, e a comunicação dessas informações continua sendo a tarefa de artistas e escritores.

O cérebro faz muito mais do que recordar. Ele compara, sintetiza, analisa, gera abstrações. Temos de imaginar muito mais coisas do que nossos genes possam saber. É por isso que a biblioteca do cérebro é cerca de 10 mil vezes maior do que a biblioteca genética. Nossa paixão por aprender, manifesta no comportamento de todo bebê, é a ferramenta de nossa sobrevivência. Emoções e

padrões de comportamento ritualizado estão profundamente embutidos em nós. São parte de nossa humanidade. Mas não são características *apenas* humanas. Muitos outros animais têm sentimentos. O que distingue nossa espécie é o pensamento. O córtex cerebral é uma libertação. Não precisamos mais ficar presos aos padrões de comportamento geneticamente herdados de lagartos e de babuínos. Somos, cada um de nós, amplamente responsáveis pelo que é posto em nosso cérebro, aquilo de que, como adultos, acabamos gostando e sobre o que acabamos sabendo. Não mais à mercê do cérebro reptiliano, podemos mudar a nós mesmos.

A maior parte das grandes cidades do mundo cresceu de modo aleatório, pouco a pouco, respondendo às necessidades do momento; é muito raro que uma cidade seja planejada para um futuro distante. A evolução de uma cidade é como a evolução do cérebro: desenvolve-se a partir de um pequeno centro, cresce e muda devagar, deixando muitas partes antigas ainda em funcionamento. Não há como a evolução eliminar o interior antigo do cérebro por causa de sua imperfeição e substituí-lo por algo de fabricação mais moderna. O cérebro tem de funcionar durante a renovação. É por isso que nosso tronco encefálico está circundado pelo complexo-R, depois pelo sistema límbico e por último pelo córtex cerebral. As partes mais antigas encarregam-se de funções fundamentais numerosas demais para serem todas substituídas. Assim, elas ficam por lá, ofegantes, ultrapassadas e às vezes contraproducentes, mas consequência necessária de nossa evolução.

Na cidade de Nova York, a disposição de muitas das ruas principais data do século XVII, a Bolsa de Valores, do século XVIII, a rede de tratamento de água, do século XIX, o sistema de fornecimento de eletricidade, do século XX. O arranjo de tudo isso seria mais eficiente se todos esses sistemas urbanos fossem construídos paralelamente e substituídos de tempos em tempos (e por isso incêndios catastróficos — as grandes conflagrações em Londres e em Chicago, por exemplo — às vezes acabam ajudando o planejamento da cidade). Porém o lento acréscimo de novas funções permite que a cidade funcione de modo mais ou menos contínuo no decorrer dos séculos. No século XVII ia-se do Brooklyn a Manhattan cruzando o East River em ferryboat. No século XIX já havia tecnologia para construir uma ponte pênsil atravessando o rio. Ela foi construída a partir do lugar onde ficava o terminal do ferry, pelo fato de o terreno ser da prefeitura e também porque importantes vias públicas já convergiam para aquele local. Mais tarde, quando foi possível fazer um túnel sob o rio, ele também foi construído a partir do mesmo lugar, pelos mesmos motivos, e também porque pequenos e abandonados precursores dele, chamados “caixões”, tinham sido edificados sobre o leito do rio quando da construção da ponte. Esse uso e reestruturação de sistemas anteriores para novos propósitos é muito parecido com o modelo de evolução biológica.

Quando nossos genes não conseguiam armazenar toda a informação necessária para a sobrevivência, devagar nós a inventávamos. Mas então chegou o tempo, talvez 10 mil anos atrás, no qual precisamos saber mais do que poderia estar convenientemente contido em cérebros. Assim, aprendemos a acumular quantidades enormes de informação fora de nosso corpo. Somos a única espécie no planeta, até onde sabemos, a ter inventado uma memória comunitária que não está armazenada nem em nossos genes nem em nosso cérebro. O depósito dessas memórias chama-se biblioteca.

Um livro é feito a partir de uma árvore. É uma reunião de partes planas e flexíveis (que ainda se chamam "folhas") nas quais foram impressos garranchos de pigmentação escura. Uma olhada nele e você ouve a voz de outra pessoa — que talvez já tenha morrido há milhares de anos. Através de milênios, o autor está falando, de maneira clara e silenciosa, dentro de sua cabeça, diretamente a você. A escrita talvez seja a maior das invenções humanas, ligando pessoas, cidadãos de épocas distantes, que nunca se conheceram. Livros rompem correntes do tempo, prova de que humanos podem fazer mágica.

Alguns dos primeiros autores escreviam em barro. A escrita cuneiforme, antepassado remoto do alfabeto ocidental, foi inventada no Oriente Próximo há cerca de 5 mil anos. Seu objetivo era fazer registros: a aquisição de grãos, a venda de terras, os triunfos do rei, os estatutos de sacerdotes, as posições das estrelas, as orações aos deuses. Durante milhares de anos a escrita foi gravada em barro e em pedra, arranhada na cera, em cortiça ou couro; pintada em bambus, papiro ou seda — mas sempre uma cópia de cada vez, e, exceto nas inscrições de monumentos, sempre para um pequeno número de leitores. Depois, na China, entre os séculos II e VI, foram inventados o papel, a tinta e a impressão por meio de blocos de madeira entalhados, o que permitiu que fossem feitas e distribuídas muitas cópias. Levou mil anos para que a ideia pegasse na distante e atrasada Europa. Então, de repente, livros estavam sendo impressos por todo o mundo. Pouco antes da invenção dos tipos móveis, por volta de 1450, não havia mais do que umas poucas dezenas de milhares de livros em toda a Europa, todos escritos à mão; mais ou menos tantos quanto havia na China em 100 a.C., e um décimo dos que havia na Grande Biblioteca de Alexandria. Cinquenta anos depois, por volta de 1500, havia 10 milhões de livros impressos. Estudar e aprender era agora acessível a todos que soubessem ler. A mágica estava em toda parte.

Em tempos mais recentes, livros, em especial brochuras, têm sido impressos em edições de grande tiragem e baratas. Pelo preço de uma refeição modesta você pode refletir sobre o declínio e a queda do Império Romano, a origem das espécies, a interpretação dos sonhos, a natureza das coisas. Livros são como sementes. Podem jazer adormecidos por séculos e depois florescer nos solos menos promissores.

As grandes bibliotecas do mundo contêm milhões de volumes, o equivalente a cerca de 10^{14} bits de informação em palavras, e talvez 10^{15} bits em imagens. Isso é 10 mil vezes mais informação do que a contida em nossos genes. Se ler um livro completo por semana, terei lido no fim da vida uns poucos milhares de livros, um décimo de 1% do que contêm as grandes bibliotecas de nossa época. O truque é saber quais livros ler. A informação que será registrada nos livros não é pré-programada no momento em que surge, e sim mudada o tempo todo, corrigida pelos acontecimentos, adaptada ao mundo. Já se completaram 23 séculos desde a fundação da Biblioteca de Alexandria. Se não houvesse livros, nenhum registro escrito, pense em quão prodigioso seria esse tempo de 23 séculos. Com quatro gerações por século, em 23 séculos viveriam quase cem gerações de seres humanos. Se informações só pudessem ser transmitidas boca a boca, quão pouco saberíamos de nosso passado, quão lento seria nosso progresso! Tudo dependeria de quais descobertas antigas casualmente nos teriam sido relatadas e de quão preciso fora esse relato. Informações sobre o passado poderiam ser reverenciadas, porém em sucessivas narrativas poderiam ficar cada vez mais deturpadas e, mais

tarde, perdidas. Livros nos permitem viajar através do tempo, tocar a sabedoria de nossos ancestrais. A biblioteca nos conecta aos insights e ao conhecimento, laboriosamente extraído da natureza, das maiores mentes que já existiram, dos melhores professores, oriundos de todo o planeta e de toda a nossa história, para nos instruir sem nos cansar e para inspirar-nos a dar nossa própria contribuição ao conhecimento coletivo da espécie humana. Bibliotecas públicas dependem de contribuições voluntárias. Acredito que a sanidade de nossa civilização, o nível de profundidade de nossa consciência quanto aos alicerces de nossa cultura e nossa preocupação com o futuro, tudo isso pode ser testado em função de quanto apoio damos a nossas bibliotecas.

Se tudo começasse de novo na Terra, sendo suas características físicas idênticas às que ela teve, é muitíssimo improvável que surgisse qualquer coisa remotamente parecida com um ser humano. O processo evolucionário tem um caráter poderosamente aleatório. Um raio cósmico que atingisse um gene diferente produzindo uma mutação diferente poderia ter poucas consequências no início, mas profundas consequências mais tarde. A casualidade pode exercer um papel marcante na biologia, assim como exerce na história. Quanto mais distante no passado ocorreram os eventos críticos, mais poderosa poderá ser sua influência no presente.

Por exemplo, consideremos nossas mãos. Temos cinco dedos em cada uma, entre os quais um opositor, o polegar. Eles nos atendem muito bem. Mas acho que seríamos tão bem atendidos se tivéssemos seis dedos incluindo um polegar, ou quatro dedos incluindo um polegar, ou talvez cinco dedos e dois polegares. Não há nada de intrinsecamente melhor em nossa configuração específica dos dedos, que em geral pensamos ser muito natural e inevitável. Temos cinco dedos porque descendemos de um peixe devoniano que tinha cinco falanges, ou ossos, nas barbatanas. Se fôssemos descendentes de um peixe com quatro ou seis falanges, teríamos quatro ou seis dedos em cada mão, e acharíamos isso muito natural. Utilizamos a base dez na aritmética apenas porque temos dez dedos nas duas mãos.[4] Se a disposição dos dedos fosse diferente, poderíamos utilizar a base oito ou a base doze na aritmética, relegando a base dez ao uso da Nova Matemática. A mesma consideração se aplica, assim creio, a muitos outros aspectos essenciais de nossa existência — nosso material hereditário, nossa bioquímica interna, nossa forma, estatura, nossos sistemas de órgãos, amores e ódios, paixões e desesperos, ternura e agressão, até mesmo nosso processamento analítico; tudo isso é, ao menos em parte, resultado de acidentes à primeira vista de menor importância em nossa longuíssima história evolucionária. Talvez se uma só libélula a menos tivesse se afogado nos pântanos do Carbonífero, os organismos inteligentes em nosso planeta, hoje, teriam penas e educariam seus filhotes em viveiros. Os padrões de casualidade evolucionária são de uma complexidade assombrosa; a incompletude de nosso entendimento é humilhante.

Há apenas 65 milhões de anos nossos antepassados eram os mais desinteressantes dos mamíferos — criaturas com o tamanho e a inteligência de toupeiras ou de musaranhos. Um biólogo teria de ter muita ousadia para adivinhar que esses animais seriam capazes de produzir mais tarde a linhagem que hoje domina a Terra. Esta, então, estava cheia de horríveis lagartos dignos de pesadelos — os dinossauros, criaturas muitíssimo bem-sucedidas que preenchiam quase todo nicho ecológico. Havia répteis nadadores, répteis voadores e répteis — alguns tão altos quanto um prédio

de seis andares — cujas passadas ribombavam por toda a face do planeta. Alguns tinham cérebro bem grande, postura ereta e duas pequenas patas dianteiras, muito parecidas com mãos, que utilizavam para pegar mamíferos pequenos e velozes — inclusive, talvez, nossos antepassados distantes — para o jantar. Se esses dinossauros tivessem sobrevivido, talvez a espécie inteligente dominante em nosso planeta hoje tivesse quatro metros de altura, pele verde e dentes afiados, e a forma humana seria considerada uma fantasia horripilante da ficção científica sauriana. Porém os dinossauros não sobreviveram. Num único evento catastrófico todos eles e muitas, talvez a maioria, das outras espécies na Terra foram destruídas.[5] Mas não os musaranhos. Não os mamíferos. Eles sobreviveram.

Ninguém sabe o que varreu os dinossauros da face da Terra.** Uma ideia sugestiva é que foi uma catástrofe cósmica, a explosão de uma estrela próxima — uma supernova, como a que produziu a nebulosa do Caranguejo. Se houve por acaso uma supernova a uma distância de entre dez ou vinte anos-luz do sistema solar há cerca de 65 milhões de anos, ela pode ter borrifado um intenso fluxo de raios cósmicos no espaço, e alguns deles, ao penetrar no invólucro de ar da Terra, teriam queimado o nitrogênio da atmosfera. Os óxidos de nitrogênio assim gerados teriam removido a camada protetora de ozônio da atmosfera, aumentado o fluxo de radiação ultravioleta do Sol na superfície e, com isso, fritando e causando a mutação de muitos organismos que não estariam devidamente protegidos da intensa luz ultravioleta. Alguns desses organismos podem ter sido componentes básicos da dieta dos dinossauros.

A catástrofe, qualquer que tenha sido, que eliminou os dinossauros do cenário do mundo acabou com a pressão que havia sobre os mamíferos. Nossos antepassados não tinham mais de viver à sombra de répteis vorazes. Nós nos diversificamos com exuberância e florescemos. Vinte milhões de anos atrás, é provável que nossos antepassados imediatos ainda vivessem em árvores, das quais desceram mais tarde porque as florestas recuaram durante uma grande era glacial e foram substituídas por savanas, cobertas de grama. Não é coisa muito boa estar totalmente adaptado para viver em árvores se houver poucas árvores. Um grande número de primatas arborícolas deve ter desaparecido junto com as florestas. Alguns levaram com dificuldade uma existência precária no solo e sobreviveram. E uma dessas linhagens evoluiu e se tornou o que somos hoje. Ninguém sabe qual foi a causa dessa mudança climática. Pode ter havido uma pequena variação da luminosidade intrínseca do Sol ou na órbita da Terra; ou enormes erupções vulcânicas que injetaram poeira fina na estratosfera, refletindo mais raios solares de volta ao espaço e com isso esfriando a Terra. Pode ter sido devido a mudanças na circulação geral dos oceanos. Ou talvez a passagem do Sol por uma nuvem de poeira galáctica. Seja qual tenha sido a causa, estamos vendo de novo como nossa existência está ligada a eventos astronômicos e geológicos aleatórios.

Depois que descemos das árvores, evoluímos para uma postura ereta; nossas mãos agora estavam livres; tínhamos uma excelente visão binocular — ou seja, tínhamos adquirido muitas das precondições necessárias para a feitura de ferramentas. Agora era muito vantajoso ter um cérebro grande e ser capaz de comunicar pensamentos complexos. Sendo iguais em outras coisas, é melhor ser inteligente do que burro. Seres inteligentes são capazes de resolver melhor os problemas, de viver mais e de deixar uma prole maior; até a invenção das armas nucleares, a inteligência forneceu

uma ajuda poderosa à sobrevivência. Em nossa história, foi uma horda de pequenos mamíferos peludos que se escondeu dos dinossauros, colonizou as copas das árvores e depois desceu delas correndo para domesticar o fogo, inventar a escrita, construir observatórios e lançar veículos espaciais. Se as coisas tivessem sido um pouco diferentes, poderia ter havido alguma outra criatura cuja inteligência e aptidão manipulativa a levaria a realizações comparáveis. Talvez os inteligentes dinossauros bípedes, ou os guaxinins, ou as lontras, ou a lula. Seria interessante saber como poderiam ser outras inteligências; por isso estudamos as baleias e os grandes hominídeos. Para saber um pouco sobre a possibilidade de haver outros tipos de civilização, podemos estudar história e antropologia cultural. Mas todos nós estamos — nós, baleias, nós, hominídeos, nós, pessoas — estreitamente relacionados. Enquanto nossas investigações se limitarem a uma ou duas linhagens evolucionárias num único planeta, permaneceremos para sempre ignorantes da possível abrangência e brilhantismo de outras inteligências e outras civilizações.

Em outro planeta, com uma sequência diferente de processos aleatórios para estabelecer uma diversidade hereditária e com um meio ambiente diferente para selecionar uma combinação específica de genes, creio que a probabilidade de se encontrar seres que sejam fisicamente muito semelhantes a nós é de cerca de zero. A probabilidade de se encontrar novas formas de inteligência, não. Seus cérebros podem ter muito bem evoluído de dentro para fora. Podem ter elementos de comutação semelhantes a nossos neurônios. Porém esses neurônios podem ser muito diferentes; talvez supercondutores que funcionam a temperaturas muito baixas em vez de dispositivos orgânicos que funcionam à temperatura ambiente, caso em que sua velocidade de pensamento será 10^7 vezes mais rápida do que a nossa. Ou talvez o equivalente dos neurônios em outros lugares não fizesse contato físico direto, e sim em comunicação por rádio, de modo que um único ser inteligente pudesse ser distribuído entre muitos organismos diferentes, ou mesmo muitos planetas diferentes, cada um com uma parte da inteligência do todo, cada um contribuindo através do rádio para uma inteligência muito maior do que ela mesma.[6] Pode haver planetas onde seres inteligentes tenham 10^{14} conexões neurais, como nós. Mas pode haver lugares nos quais o número seja 10^{24} ou 10^{34}. Eu me pergunto o que eles saberiam. Como habitamos, ambos, o mesmo universo, nós e eles devemos estar compartilhando alguma informação substancial. Se pudéssemos estabelecer contato entre nós, há muita coisa no cérebro deles que nos seria de grande interesse. Mas o inverso também é verdadeiro. Creio que a inteligência extraterrestre — até mesmo seres bem mais evoluídos do que nós — estaria interessada em nós, no que sabemos, em como pensamos, como é nosso cérebro, o decorrer de nossa evolução, as perspectivas de nosso futuro.

Se existirem seres inteligentes nos planetas de estrelas razoavelmente próximas, será que sabem sobre nós? Poderiam ter alguma noção da longa progressão evolucionária de genes para cérebro para bibliotecas que ocorreu neste obscuro planeta Terra? Se os extraterrestres não saíram de onde estão, há pelo menos dois modos pelos quais podem ter descoberto coisas sobre nós. Um deles seria escutar com grandes radiotelescópios. Durante bilhões de anos só teriam ouvido uma fraca e intermitente estática de rádio causada por relâmpagos e elétrons e prótons assobiando, presos no campo magnético da Terra. Depois, há menos de um século, as ondas de rádio que saem daqui teriam se tornado mais fortes, mais altas, parecendo-se menos com ruídos e mais com sinais. Os

habitantes da Terra tinham afinal deparado com a comunicação por rádio. Hoje existe um amplo tráfego internacional de comunicações de rádio, televisão e radar. Em certas radiofrequências nosso planeta tornou-se, de longe, o objeto mais brilhante, a mais poderosa fonte de rádio no sistema solar — mais brilhante do que Júpiter, do que o Sol. Uma civilização extraterrestre que estivesse monitorando as emissões de rádio da Terra e recebesse esses sinais não poderia deixar de concluir que algo interessante estivera acontecendo por aqui ultimamente.

Com a rotação da Terra, nossos mais potentes radiotransmissores varrem sem pressa o céu. Um radioastrônomo num planeta de outra estrela estaria apto a calcular a duração do dia terrestre a partir dos momentos em que surgiriam e desapareceriam nossos sinais. Algumas de nossas fontes mais potentes são transmissores de radar; alguns são usados na astronomia por radar, para sondar com dedos de rádio as superfícies de planetas próximos. O tamanho do feixe de radar projetado contra o céu é muito maior que o tamanho dos planetas, e grande parte do sinal vai parar fora do sistema solar, nas profundezas do espaço interestelar, para quaisquer receptores sensíveis que possam estar à escuta. A maior parte das transmissões de radar é feita para fins militares; elas varrem os céus, movidas pelo medo constante de um ataque maciço de mísseis com ogivas nucleares, augúrio, com antecipação de quinze minutos, do fim da civilização humana. A informação contida nessas pulsações é irrisória: uma sucessão de simples padrões numéricos codificados em bipes.

No geral, a mais penetrante e perceptível fonte terrestre de transmissões de rádio são nossos programas de televisão. Como a Terra está girando, algumas estações de TV aparecem em um horizonte dela enquanto outras desaparecem no outro horizonte. Haverá uma mistura confusa de programas. Mesmo estes podem ser ordenados, separados e remontados por uma civilização avançada num planeta de uma estrela próxima. As mensagens repetidas com mais frequência serão os sinais de chamada a estações, exortações para que se comprem determinados detergentes, desodorantes, analgésicos, automóveis e derivados de petróleo. As mensagens mais em destaque serão aquelas transmitidas ao mesmo tempo por muitas transmissoras em muitos fusos horários — por exemplo, discursos em tempos de crise internacional pelo presidente dos Estados Unidos ou o primeiro-ministro da União Soviética. Os conteúdos pouco ou nada significativos da TV comercial e as coberturas de crises internacionais e dos conflitos internos na família humana são as principais mensagens sobre a vida na Terra que elegemos para transmitir para o cosmos. O que será que pensarão de nós?

Não há como trazer esses programas de TV de volta. Não há como enviar uma mensagem mais rápida que os ultrapasse e recolha e corrija a transmissão que foi feita. Nada pode viajar mais rápido do que a luz. As transmissões de TV em grande escala começaram no planeta apenas no final da década de 1940. Assim, existe uma onda esférica cuja frente tem como centro a Terra, expandindo-se à velocidade da luz, e que contém *Howdy Doody*, o discurso do Checkers feito pelo candidato a vice-presidente americano Richard M. Nixon e os interrogatórios televisionados conduzidos pelo senador Joseph McCarthy.*** Como essas transmissões foram feitas algumas décadas atrás, estão a apenas algumas dezenas de anos-luz de distância da Terra. Se a civilização mais próxima estiver mais longe do que isso, podemos continuar relaxados por algum tempo. Seja como for, é de esperar que

eles achem esses programas incompreensíveis.

As duas naves espaciais *Voyager* estão dirigidas às estrelas. Afixado a cada uma delas há um disco fonográfico de cobre banhado a ouro com uma cápsula e uma agulha, e, na capa do disco em alumínio, instruções de uso. Enviamos algumas informações sobre nossos genes, nosso cérebro e nossas bibliotecas a outros seres que possam estar navegando no mar do espaço interestelar. Mas não quisemos enviar, como tema principal, informações científicas. Qualquer civilização capaz de interceptar a *Voyager* nas profundezas do espaço interestelar, com aqueles que a enviaram mortos há muito tempo, teriam muito mais conhecimento científico do que nós. Então, quisemos contar a esses outros seres algo sobre o que seria único em nós. Os interesses do córtex cerebral e do sistema límbico estão bem representados; os do complexo-R, menos. Embora os destinatários talvez não conheçam as línguas da Terra, incluímos saudações em sessenta idiomas, assim como os alôs das baleias jubartes. Enviamos fotografias de seres humanos de todo o mundo cuidando uns dos outros, aprendendo, fabricando ferramentas, criando arte e respondendo a desafios. Há uma hora e meia de música primorosa de várias culturas, parte dela expressando nossa sensação de solidão cósmica, nosso desejo de acabar com esse isolamento, nosso anseio por fazer contato com outros seres no cosmos. E enviamos gravações de sons que teriam sido ouvidos em nosso planeta desde os tempos anteriores à origem da vida até a evolução da espécie humana e nossa mais recente e florescente tecnologia. Constituem, tanto quanto os sons de qualquer baleia-de-barbatana, uma canção de amor lançada nas vastas profundezas do espaço. Muitas, talvez a maioria, de nossas mensagens talvez sejam indecifráveis. Mas nós as enviamos porque é importante tentar.

Foi com esse espírito que incluímos na espaçonave *Voyager* pensamentos e sentimentos de uma pessoa, a atividade elétrica de seu cérebro, coração, olhos e músculos, que foram gravados durante uma hora, transcritos em forma de som, comprimidos no tempo e incorporados no disco. Em certo sentido lançamos no cosmos uma transcrição direta de pensamentos e sentimentos de um único ser humano no mês de junho do ano de 1977 no planeta Terra. Talvez os destinatários não façam uso disso para nada, ou pensem que se trata da gravação de um pulsar, o que, à primeira vista, parece de fato ser. Ou talvez uma civilização inimaginavelmente mais avançada do que a nossa seja capaz de decifrar esses pensamentos e sentimentos assim gravados e apreciar nossos esforços de os partilharmos com eles.

A informação em nossos genes é muito antiga — a maior parte tem milhões de anos, uma parte, bilhões de anos de idade. Em contraste, a informação em nossos livros tem no máximo alguns milhares de anos, e a que está em nosso cérebro, no máximo algumas décadas. A informação de longa vida não é uma informação caracteristicamente humana. Por causa da erosão na Terra, nossos monumentos e artefatos, no transcorrer natural das coisas, não sobreviverão num futuro distante. Mas o registro na *Voyager* está a caminho, fora do sistema solar. A erosão no espaço interestelar — sobretudo por raios cósmicos e impacto de grãos de poeira — é tão lenta que a informação no disco vai durar 1 bilhão de anos. Genes, cérebro e livros codificam informações de maneira diferente e perduram no tempo segundo parâmetros diferentes. Mas a persistência da memória da espécie humana será muito mais longa nos sulcos de metal gravados no disco interestelar da *Voyager*.

A mensagem da *Voyager* está viajando com agoniada lentidão. Mesmo sendo o objeto mais rápido

jamais lançado pela espécie humana, levará ainda assim dezenas de milhares de anos para cobrir a distância até a estrela mais próxima. Qualquer programa de televisão atravessará em horas a distância que a *Voyager* terá coberto em anos. Uma transmissão de TV que acabou de ser feita ultrapassará, em apenas poucas horas, a espaçonave *Voyager* na região de Saturno e além dela, em sua disparada para as estrelas. Dirigido para lá, o sinal alcançará Alfa de Centauro em pouco mais de quatro anos. Se, em décadas ou séculos a partir de agora, alguém lá fora no espaço ouvir nossos programas de televisão, espero que faça bom juízo de nós, produto de 15 bilhões de anos de evolução cósmica, a transmogrificação local de matéria em consciência. Há pouco tempo nossa inteligência nos proveu de poderes incríveis. Ainda não está claro se temos a sabedoria necessária para impedir nossa autodestruição. Mas muitos de nós estão tentando com grande empenho. Esperamos que muito em breve, na perspectiva do tempo cósmico, tenhamos unido nosso planeta de maneira pacífica numa organização que preza a vida de cada criatura viva que existe nele, e estejamos preparados para dar o próximo grande passo, de nos tornarmos parte de uma sociedade galáctica de civilizações que se comunicam entre si.

---

* Essa hipótese possui uma série de contraevidências no momento atual. (N. R. T.)

** A hipótese de Alvarez e Alvarez sobre a extinção dos dinossauros por um asteroide, fortemente sustentada por evidências como uma imensa cratera de impacto no golfo do México, só fora proposta no ano de publicação da primeira edição do livro, em 1980. Hoje em dia, é certamente a hipótese mais aceita para explicar o evento de extinção do Cretáceo-Paleogeno. Até aquele momento, discutia-se a hipótese de Russell e Tucker, de 1971, apresentada neste texto. (N. R. T.)

*** *Howdy Doody* foi um programa infantil da TV americana, transmitido entre 1947 e 1960; o discurso do Checkers foi feito na TV em 1952 pelo senador Richard Nixon, candidato a vice-presidente, defendendo-se de acusações de suborno em sua campanha, mas admitindo que aceitara um presente, um cão chamado Checkers; os interrogatórios de Joseph McCarthy no Senado fizeram parte do movimento anticomunista dirigido por ele nos anos 1950. (N. T.)

12. *Encyclopaedia Galactica*

"O que são vocês? De onde vieram? Nunca vi nada como vocês." O Corvo Criador olhou para o Homem e ficou [...] surpreso ao descobrir que esse novo e estranho ser era muito parecido com ele.

Um mito esquimó da criação

O autor da natureza [...] fez com que nos fosse impossível, em nosso estado atual, ter qualquer comunicação desta terra com os outros grandes corpos do universo; e é muito possível que, da mesma forma, ele tenha cortado toda comunicação entre os outros planetas e entre os diferentes sistemas [...]. Observamos, em todos eles, o bastante para despertar nossa curiosidade, mas não para satisfazê-la. Não parece ser adequado à sabedoria que reluz por toda a natureza supor que enxergaríamos tão longe e teríamos nossa curiosidade tão despertada [...] só para no fim ficarmos desapontados [...]. Isso, portanto, nos leva a considerar nossa situação atual como apenas a aurora ou o começo de nossa existência, e um estágio na preparação ou no período experimental para um futuro avanço.

Colin Maclaurin, 1748

Lançamos quatro naves em direção às estrelas, *Pioneers 10* e *11* e *Voyagers 1* e *2*.* São artefatos atrasados e primitivos, comparados com as imensas distâncias interestelares, com a lentidão de uma corrida num sonho. Mas no futuro faremos melhor. Nossas naves viajarão com mais rapidez. Serão designados objetivos interestelares e, cedo ou tarde, nossas espaçonaves terão tripulações humanas. Na Via Láctea deve haver muitos planetas milhões de anos mais antigos que a Terra, e alguns, bilhões de anos mais antigos. Será que não fomos visitados por eles? Em todos os bilhões de anos desde a origem de nosso planeta não aconteceu nem uma vez que um artefato estranho de uma civilização distante não examinasse nosso mundo de cima e baixasse com vagar até a superfície para ser observado por libélulas iridescentes, répteis indiferentes, primatas aos gritos ou espantados seres humanos? É uma ideia bastante natural. Ela ocorreu a quem quer que tenha considerado, mesmo casualmente, a questão da existência de vida inteligente no universo. Mas será que de fato aconteceu? A questão crítica aqui é a qualidade da pretensa evidência, rigorosa e ceticamente examinada — não só o que parece plausível, não só o testemunho não substanciado de uma ou duas autoproclamadas testemunhas oculares. De acordo com esse padrão, não há casos convincentes de visitações extraterrestres, apesar de todas as declarações quanto a óvnis e astronautas na Antiguidade que às vezes fazem parecer que nosso planeta está inundado de hóspedes não convidados. Eu gostaria que fosse diferente. Há algo de irresistível na descoberta até mesmo de um indício, talvez uma inscrição complexa, porém, muito mais do que isso, uma chave para a compreensão de uma civilização alienígena e exótica. É uma atração que nós, humanos, já sentimos antes.

Em 1801 um físico chamado Joseph Fourier[1] era prefeito de um *département* na França, chamado

Isère. Ao inspecionar as escolas em sua província, Fourier encontrou um menino de onze anos cujo notável intelecto e a propensão para línguas orientais já lhe granjearam a admirada atenção de eruditos. Convidou-o então a ir a sua casa para uma conversa. O menino ficou fascinado com a coleção de artefatos egípcios de Fourier, reunida durante a expedição de Napoleão, na qual ele fora o responsável pela catalogação dos monumentos astronômicos daquela antiga civilização. As inscrições hieroglíficas despertaram no menino a sensação de algo maravilhoso. "Mas o que significam?", perguntou ele. "Ninguém sabe", foi a resposta. O nome do menino era Jean-François Champollion. Inflamado pelo mistério da língua que ninguém era capaz de ler, ele tornou-se um soberbo linguista e mergulhou com paixão no estudo da antiga escrita egípcia. Na época a França estava inundada de artefatos egípcios, roubados por Napoleão e depois tornados acessíveis a eruditos ocidentais. A descrição da expedição foi publicada e devorada pelo jovem Champollion. Já adulto, ele prosperou; realizando sua ambição de infância, conseguiu decifrar com brilhantismo os antigos hieróglifos egípcios. Mas foi só em 1828, 27 anos após seu encontro com Fourier, que Champollion pela primeira vez pôs os pés no Egito, país de seus sonhos, e subiu o Nilo a partir do Cairo, prestando homenagem à cultura para cuja compreensão tinha trabalhado com tanto afinco. Foi uma expedição no tempo, uma visita a uma civilização antiga:

> Na noite do dia 16 chegamos enfim a Dendera. Havia um luar magnífico e estávamos a apenas algumas horas dos templos: poderíamos resistir à tentação? Pergunto isso aos mais frios entre vocês, mortais! Jantar e partir de imediato eram os imperativos do momento: sozinhos e sem guias, mas armados até os dentes, atravessamos os campos [...] e afinal surgiu-nos o Templo [...]. Poderíamos muito bem medi-lo, porém dar uma ideia do que é seria impossível. É a união da graça com a majestade no mais alto grau. Ficamos lá duas horas em êxtase, percorrendo os imensos aposentos [...] e tentando ler à luz da lua as inscrições no exterior. Só voltamos ao barco às três da manhã, e às sete já estávamos de volta ao Templo [...]. O que fora magnífico ao luar ainda o era quando a luz solar nos revelou todos os detalhes [...]. Nós, na Europa, somos apenas anões, e nenhuma ação, antiga ou moderna, concebeu a arte da arquitetura num estilo tão sublime, grandioso e imponente quanto os antigos egípcios. Eles ordenaram que tudo fosse feito para pessoas com trinta metros de altura.

Nas paredes e colunas de Karnak, em Dendera, e em toda parte no Egito, Champollion ficou encantado ao descobrir que conseguia ler as inscrições quase sem esforço. Muitos antes dele tinham tentado, em vão, decifrar os belos hieróglifos, palavra que significa "gravações [entalhes] sagradas". Alguns estudiosos acreditavam que eles eram uma espécie de figuras de código, ricas em obscuras metáforas, sobretudo olhos e linhas onduladas, escaravelhos, abelhões e aves — em especial aves. A confusão era total. Houve quem deduzisse que os egípcios eram colonizadores vindos da China antiga. E os que concluíram o oposto. Enormes volumes de traduções espúrias foram publicados. Um intérprete deu uma olhada superficial na pedra de Roseta, cuja inscrição hieroglífica ainda não fora decifrada, e de imediato anunciou seu significado. Disse que a decifração rápida lhe permitia "evitar os erros sistemáticos que sempre surgem de uma reflexão prolongada". Seriam obtidos melhores resultados, alegou, se não se pensasse demais. Assim como a pesquisa de vida extraterrestre hoje em dia, a especulação desenfreada de amadores assustou muitos profissionais, que se afastaram.

Champollion resistiu à ideia de que hieróglifos fossem metáforas pictóricas. Com a ajuda de um brilhante insight do físico inglês Thomas Young, ele procedeu mais ou menos assim: a pedra de

Roseta fora descoberta em 1799 por um soldado francês que trabalhava nas fortificações da cidade de Rashid, no delta do Nilo, a qual os europeus, que na maioria não sabiam árabe, chamavam de Roseta. Era uma laje de um templo antigo, apresentando o que dava a clara impressão de ser a mesma mensagem em três escritas diferentes: a hieroglífica, no topo; numa espécie de hieróglifo cursivo, chamado demótico, no meio; e o que seria a chave de sua decifração, em grego, embaixo. Champollion, que era fluente em grego antigo, leu que a pedra tinha sido gravada para comemorar a coroação de Ptolomeu V Epifânio, na primavera de 196 a.C. Nessa ocasião o rei tinha libertado prisioneiros políticos, anulado impostos, aberto templos, perdoado rebeldes, incrementado a prontidão militar e, em resumo, feito todas as coisas que os governantes modernos fazem quando querem permanecer no cargo.

O texto grego menciona Ptolomeu várias vezes. Mais ou menos na mesma posição no texto hieroglífico há um grupo de símbolos cercado por uma oval, ou cartucho. Era muito provável, raciocinou Champollion, que isso também denotasse Ptolomeu. Nesse caso, a escrita não seria basicamente pictográfica ou metafórica; a maioria dos símbolos devia estar representando letras ou sílabas. O egiptólogo também teve a presença de espírito de contar o número de palavras em grego e o número de hieróglifos individuais no que eram, imaginava-se, textos equivalentes ao grego. Havia muito menos palavras gregas do que hieróglifos, sugerindo mais uma vez que estes fossem sobretudo letras e sílabas. Mas quais hieróglifos corresponderiam a quais letras? Por sorte, Champollion tivera acesso a um obelisco, que fora escavado em Filas, no qual se incluía o equivalente hieroglífico do nome grego de Cleópatra. Ptolomeu começa com P; o primeiro símbolo no cartucho é um quadrado. A quinta letra no nome de Cleópatra é um P, e no cartucho referente a Cleópatra, na quinta posição, aparece o mesmo quadrado. É o P. A quarta letra de Ptolomeu é um L. Será representado pelo leão? A segunda letra em Cleópatra é L e, nos hieróglifos, há de novo um leão. A águia é um A e aparece duas vezes em Cleópatra, como deveria. Um claro padrão está surgindo. Os hieróglifos egípcios são, uma parte significativa deles, uma simples cifra de substituição. Mas nem todo hieróglifo é uma letra ou uma sílaba. Alguns *são* pictográficos. O final no cartucho de Ptolomeu significa “Eterno, amado pelo deus Ptah”. O semicírculo e o ovo no final do nome de Cleópatra constituem um ideograma convencional para “filha de Ísis”. Essa mistura de letras e pictogramas causou alguma aflição aos primeiros intérpretes.

Em retrospecto, parece quase fácil. Mas vários séculos tinham se passado até que se obtivesse esse entendimento, e havia muito mais a ser feito, em especial a decifração de hieróglifos de períodos bem anteriores. Os cartuchos eram a chave dentro de uma chave, quase como se os faraós do Egito tivessem circulado seus próprios nomes para facilitar a vida dos egiptólogos 2 mil anos depois. Champollion percorreu o Grande Salão Hipostilo em Karnak e leu sem esforço as inscrições, que tinham confundido todos os outros, respondendo à pergunta que fizera, quando criança, a Fourier. Que satisfação deve ter sido para ele abrir esse canal de comunicação de mão única com outra civilização, permitir que uma cultura que permanecera emudecida durante milênios contasse sobre sua história, magia, medicina, religião, política e filosofia.

Hoje, de novo, estamos buscando mensagens de civilizações antigas e exóticas, dessa vez ocultas de nós não apenas no tempo como também no espaço. Se recebêssemos uma mensagem por rádio de

uma civilização extraterrestre, como seria possível compreendê-la? Uma inteligência extraterrestre será elegante, complexa, dotada de consistência interna e totalmente estranha a nós. É claro que os extraterrestres gostariam de fazer com que uma mensagem enviada a nós fosse tão compreensível quanto possível. Mas como fariam isso? Será que existe, de algum modo, uma pedra de Roseta interestelar? Acreditamos que sim. Acreditamos que existe uma linguagem comum que todas as civilizações técnicas, não importa quão diferentes sejam, devem ter. Essa linguagem comum é a ciência e a matemática. As leis da natureza são as mesmas em toda parte. Os padrões no espectro de estrelas distantes são os mesmos para o Sol ou para experimentos apropriados em laboratório: em todos os lugares do universo existem os mesmos elementos químicos e se aplicam as mesmas leis da mecânica quântica que governam a absorção e a emissão de radiação de átomos. Galáxias distantes que giram uma em torno da outra seguem as mesmas leis de física gravitacional que governam o movimento de uma maçã caindo na Terra ou da *Voyager* em seu caminho para as estrelas. Os padrões da natureza são, em toda parte, os mesmos. Uma mensagem interestelar que pretenda ser compreendida por uma civilização emergente deverá ser de fácil decodificação.

Não esperamos que exista uma civilização técnica avançada em qualquer outro planeta em nosso sistema solar. Se houvesse uma que fosse só um pouco atrasada em relação a nós — digamos, 10 mil anos —, não teria em absoluto uma tecnologia avançada. Se estivesse só um pouco avançada em relação a nós — nós, que já estamos explorando o sistema solar —, seus representantes a esta altura já estariam aqui. Para nos comunicarmos com outras civilizações precisamos de um método adequado não apenas para distâncias interplanetárias, mas para distâncias interestelares. Em termos ideais, o método deveria ser barato, para que uma enorme quantidade de informação pudesse ser enviada e recebida a um custo muito baixo; rápido, para que um diálogo interestelar fosse possível; e óbvio, de modo que qualquer civilização tecnológica, não importa qual tenha sido seu percurso evolucionário, logo o descobrisse. Por incrível que pareça, esse método existe. Chama-se radioastronomia.

O maior observatório de rádio/radar semidirecionável no planeta Terra é o de Arecibo, que a Universidade Cornell opera para a Fundação Nacional de Ciência dos Estados Unidos. Situado bem no interior da ilha de Porto Rico, tem 305 metros de diâmetro e sua superfície refletora, uma seção de esfera, fica num vale já existente em forma de tigela. Recebe ondas de rádio das profundezas do espaço e os focaliza no braço de alimentação de uma antena bem acima do prato, que por sua vez está conectado eletronicamente à sala de controle, onde o sinal é analisado. Já quando o telescópio é usado como transmissor de radar, o braço de alimentação pode irradiar um sinal para o prato, que o reflete para o espaço. O Observatório de Arecibo foi usado tanto para a pesquisa de sinais inteligentes de civilizações no espaço quanto, uma vez apenas, para transmitir uma mensagem — para M13, um distante aglomerado globular de estrelas —, e assim nossa capacidade técnica de estar nos dois lados de um diálogo interestelar deveria estar clara, ao menos para nós.

Em um período de poucas semanas, Arecibo poderia transmitir a um observatório análogo num planeta de uma estrela próxima toda a *Encyclopaedia Britannica*. Ondas de rádio viajam à velocidade da luz, 10 mil vezes mais depressa do que uma mensagem anexada a nossa mais veloz espaçonave interestelar. Radiotelescópios geram em faixas de frequência estreitas sinais tão intensos que podem

ser detectados a imensas distâncias interestelares. O Observatório de Arecibo poderia se comunicar com um radiotelescópio idêntico num planeta a 15 mil anos-luz de distância, a meio caminho do centro da Via Láctea, se soubéssemos com exatidão para onde apontá-lo. E a radioastronomia é uma tecnologia natural. Na prática toda a atmosfera planetária, não importa qual seja sua composição, seria em parte transparente para ondas de rádio. Mensagens de rádio não são muito absorvidas ou espalhadas pelo gás que existe entre as estrelas, e assim uma estação de rádio de San Francisco pode ser ouvida com facilidade em Los Angeles mesmo que o *smog*, a poluição atmosférica, tenha reduzido a visibilidade de comprimentos de ondas ópticas a uns poucos quilômetros. Há muitas fontes cósmicas de rádio naturais que não têm nada a ver com vida inteligente — pulsares e quasares, cinturões de radiação dos planetas e as atmosferas exteriores de estrelas; em quase todo planeta há claras fontes de rádio a serem logo descobertas com o desenvolvimento local da radioastronomia. Além disso, o rádio representa uma grande fração do espectro eletromagnético. Toda tecnologia apta a detectar radiação em *qualquer* comprimento de onda irá deparar, logo, logo, com a parte de rádio do espectro.

Pode haver outros métodos de comunicação com o mérito de serem bastante eficazes: espaçonaves interestelares, lasers ópticos ou infravermelhos, neutrinos pulsados, ondas de gravidade** moduladas, ou algum outro tipo de transmissão que não descobriremos em mil anos. Civilizações avançadas podem ter ido muito além do rádio para suas próprias comunicações. Mas o rádio é poderoso, barato e simples. Elas saberão que uma civilização atrasada como a nossa, se quiser receber mensagens dos céus, talvez se volte primeiro para a tecnologia do rádio. É provável que elas tenham de retirar sobre rodinhas os radiotelescópios de seu Museu de Tecnologia Antiga. Se recebêssemos uma mensagem de rádio, saberíamos que haveria no mínimo uma coisa sobre a qual poderíamos conversar: radioastronomia.

Mas será que existe alguém lá com quem falar? Com um terço de trilhão ou meio trilhão de estrelas apenas na Via Láctea, será que a nossa é a única acompanhada por um planeta habitado? Quanto mais provável seria que civilizações técnicas sejam lugares-comuns cósmicos, que a Galáxia esteja pulsando e zumbindo com sociedades avançadas e, portanto, que a mais próxima de tal cultura não esteja muito longe — talvez transmitindo de antenas instaladas num planeta de uma estrela vizinha, visível a olho nu. Talvez, quando olhamos para céu à noite, perto de um desses tênues pontos de luz, exista um mundo no qual alguém muito diferente de nós esteja olhando ociosamente para uma estrela que *nós* chamamos de Sol, e, por um momento, fazendo acintosas especulações.

É muito difícil ter certeza. Pode haver graves impedimentos à evolução de uma civilização técnica. Planetas podem ser mais raros do que pensamos. Talvez a origem da vida não seja tão fácil quanto nos sugerem nossos experimentos em laboratório. Talvez a evolução de formas de vida avançadas seja improvável. Ou pode ser que formas de vida complexas evoluam com facilidade, mas que inteligência e sociedades técnicas requeiram um improvável conjunto de coincidências — assim como a evolução da espécie humana dependeu da extinção dos dinossauros e, na era do gelo, da regressão das florestas em cujas árvores nossos ancestrais guinchavam e se assombravam. Ou talvez civilizações surjam repetida e inexoravelmente, em inúmeros planetas na Via Láctea, mas sejam em

geral instáveis; assim, com exceção de uma fração mínima, são incapazes de sobreviver com sua tecnologia e sucumbem à ganância, à ignorância, à poluição e à guerra nuclear.

Pode-se explorar essa grande questão ainda mais e fazer uma crua estimativa de N, o número de civilizações tecnicamente avançadas na Galáxia. Definimos uma civilização avançada como capaz de usar a radioastronomia. Isso, claro, é uma definição estreita, mas essencial. Pode haver incontáveis mundos nos quais os habitantes sejam linguistas bem-sucedidos ou poetas soberbos, mas indiferentes à radioastronomia. Não ouviremos falar deles. N pode ser descrito como o produto ou a multiplicação de diversos fatores, cada um deles uma espécie de filtro, cada um dos quais deve ter certo tamanho para que haja um grande número de civilizações:

N_*, o número de estrelas na Via Láctea;

f_p, a fração de estrelas que têm sistemas planetários;

n_e, o número de planetas num dado sistema que são, em termos ecológicos, adequados à existência de vida;

f_l, a fração de planetas adequados nos quais surge efetivamente a vida;

f_i, a fração de planetas habitados nos quais evolui uma forma de vida inteligente;

f_c, a fração de planetas habitados por seres inteligentes nos quais uma civilização técnica comunicativa se desenvolveu; e

f_L, a fração de tempo de vida planetária agraciada com uma civilização técnica.

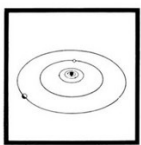
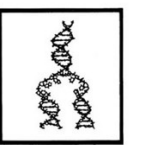
A equação assim montada seria $N = N_* f_p n_e f_l f_i f_c f_L$. Todos os f são frações, com valores entre 0 e 1; elas agirão como redutoras do grande valor de N_*.

Para derivar N temos de estimar cada uma dessas quantidades. Sabemos bastante sobre os primeiros fatores originais na equação, o número de estrelas e sistemas planetários. Sabemos muito pouco sobre os fatores seguintes, concernentes à evolução da inteligência ou ao tempo de vida de sociedades técnicas. Nesses casos nossas estimativas serão pouco melhores que palpites. Convido você, se discordar de minhas estimativas a seguir, a fazer suas próprias escolhas e verificar que implicações suas sugestões alternativas acarretam no número de civilizações avançadas na Galáxia. Uma das grandes virtudes dessa equação, devida originalmente a Frank Drake, de Cornell, é que ela envolve elementos que vão desde a astronomia estelar e planetária até a química orgânica, a biologia evolucionária, a história, a política e a psicologia anormal. Muito do cosmos está contido no âmbito da equação de Drake.

Conhecemos N_*, o número de estrelas na Via Láctea, razoavelmente bem, por meio de contagens cuidadosas de estrelas em regiões pequenas porém representativas do céu. É de algumas centenas de bilhões; segundo algumas estimativas recentes, 4×10^{11}. Muito poucas dessas estrelas são da variedade de altas massas e de vida curta que desperdiçam suas reservas de combustível termonuclear. A grande maioria tem uma vida de bilhões de anos, ou mais, durante os quais elas brilham com estabilidade, constituindo-se numa apropriada fonte de energia para a origem e a evolução da vida em planetas próximos.

Há evidências de que planetas são companhia frequente na formação de uma estrela: nos sistemas de satélites de Júpiter, Saturno e Urano, que são como que uma miniatura de sistemas solares; em teorias das origens dos planetas; em estudos sobre estrelas duplas; na observação de discos de acreção em torno de estrelas; e em algumas investigações preliminares das perturbações

gravitacionais em estrelas próximas. Muitas estrelas, talvez até a maioria, podem ter planetas. Consideremos a fração de estrelas que têm planetas, f_p, como mais ou menos igual a 1/3. Com isso, o número total de sistemas planetários na Galáxia seria de $N_* f_p \simeq 1{,}3 \times 10^{11}$ (o símbolo $\simeq$ significa "aproximadamente igual a"). Se cada sistema tivesse cerca de dez planetas, como o nosso, o número total de mundos na Galáxia seria bem maior do que 1 trilhão, uma ampla arena para o drama cósmico.

Em nosso próprio sistema solar existem vários corpos que podem ser adequados à presença de vida de algum tipo: a Terra, com certeza, e talvez Marte, Titã e Júpiter. Uma vez originada a vida, ela tende a ser muito adaptável e tenaz. Deve haver muitos meios ambientes adequados a ela em um dado sistema planetário. Porém, de uma perspectiva conservadora, optamos por $n_e = 2$. Com isso, o número de planetas na galáxia adequados à vida seria de $N_* f_p n_e \simeq 3 \times 10^{11}$.

Experimentos demonstram que nas condições cósmicas mais comuns a base molecular da vida é produzida prontamente, os blocos construtores de moléculas aptos a fazer cópias deles mesmos. Agora estamos pisando num terreno menos seguro; por exemplo, pode haver empecilhos na evolução do código genético, embora eu creia que isso foi improvável nos bilhões de anos de química primordial. Optamos por $f_l \simeq 1/3$, o que implica um número total de planetas na Via Láctea, nos quais surgiu vida pelo menos uma vez, de $N_* f_p n_e f_l \simeq 1 \times 10^{11}$, 100 bilhões de mundos habitados. Essa é, por si mesma, uma conclusão notável. Mas ainda não terminamos.

As opções por f_i e f_c são mais difíceis. Por um lado, muitas etapas individualmente improváveis tiveram de acontecer na evolução biológica e na história humana para que se desenvolvessem nossa inteligência e tecnologia atuais. Por outro lado, tem de haver muitos caminhos bem diferentes que levam a uma civilização avançada com aptidões específicas. Considerando a aparente dificuldade na evolução dos grandes organismos representados pela explosão cambriana, optemos por $f_i \times f_c = 1/100$, significando que apenas 1% dos planetas nos quais a vida surge produz mais tarde uma civilização técnica. Essa estimativa representa um terreno intermediário entre as várias opiniões científicas. Há quem pense que o equivalente à etapa que vai do surgimento dos trilobitas até a descoberta e o domínio do fogo tem a duração de um piscar de olhos em todos os sistemas planetários; outros acham que, mesmo em 10 bilhões ou 15 bilhões de anos, a evolução de uma civilização técnica é improvável. Não é tema no qual possamos fazer muitos experimentos, enquanto nossas investigações forem limitadas a um único planeta. Multiplicando todos esses fatores, vamos encontrar $N_* f_p n_e f_l f_i f_c \simeq 1 \times 10^9$, 1 bilhão de planetas nos quais uma civilização técnica surgiu pelo menos uma vez. Mas isso é muito diferente de dizer que há 1 bilhão de planetas nos quais uma civilização técnica existe agora. Para isso, temos de fazer uma estimativa para f_L também.

Que percentual da vida de um planeta é marcado por uma civilização técnica? A Terra tem abrigado uma civilização técnica caracterizada pela radioastronomia durante apenas algumas décadas em um período de vida de alguns bilhões de anos. Até agora, portanto, para nosso planeta f_L é menos do que $1/10^8$, 0,000001%. E não está fora de questão a possibilidade de que podemos nos

destruir amanhã. Suponha que esse fosse um caso típico e que a destruição seria tão completa que nenhuma outra civilização técnica — de humanos ou de qualquer outra espécie — pudesse surgir nos 5 bilhões, ou próximo disso, de anos remanescentes até a morte do Sol. Nesse caso, $N = N_* f_p f_l f_i f_c f_L \simeq 10$, e durante qualquer dado período haveria apenas uma vaga noção, um punhado, irrisoriamente poucas civilizações técnicas na Galáxia, número mantido constante enquanto sociedades emergentes substituem aquelas recém-autoimoladas. O número N pode ser tão pequeno quanto 1. Se civilizações tendem a se autodestruir pouco após alcançarem uma fase tecnológica, pode ser que não tenhamos com quem falar a não ser conosco mesmos. E ainda isso fazemos muito mal. Civilizações levariam, para surgir, bilhões de anos de uma evolução tortuosa, para depois se extinguirem num instante de imperdoável negligência.

Porém considere a alternativa, a perspectiva de que ao menos algumas civilizações aprendam a viver com uma alta tecnologia; que as contradições suscitadas pelos caprichos da evolução do cérebro no passado tenham sido resolvidas e não levem à autodestruição; ou que, mesmo que ocorram grandes perturbações, elas sejam revertidas nos subsequentes bilhões de anos de evolução biológica. Essas sociedades poderiam viver uma próspera velhice, a duração de sua vida talvez medida em escalas de tempo evolucionárias estelares. Se 1% das civilizações for capaz de sobreviver a sua adolescência tecnológica, tomar o caminho certo nessa crítica encruzilhada histórica e adquirir maturidade, então $f_L \simeq 1/100$, $N \simeq 10^7$, e o número de civilizações existente na galáxia estaria na casa dos milhões. Assim, com todas as restrições relativas à possível não confiabilidade de nossas estimativas dos fatores de partida na equação de Drake, que envolvem astronomia, química orgânica e biologia evolucionária, a principal incerteza refere-se à economia, à política e ao que, na Terra, chamamos de natureza humana. Parece estar bastante claro que se a autodestruição não foi a sina preponderante nas civilizações galácticas, o céu deve estar zumbindo suavemente com mensagens das estrelas.

$N_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times f_L = N$

Essas estimativas são empolgantes. Elas sugerem que a recepção de uma mensagem do espaço é, mesmo antes de a decodificarmos, um sinal profundamente auspicioso. Significa que alguém aprendeu a viver em alta tecnologia; que é possível sobreviver à adolescência tecnológica. Basta isso, independentemente do conteúdo da mensagem, para servir de poderosa justificativa para a procura de outras civilizações.

Se existirem milhões de civilizações distribuídas de modo mais ou menos aleatório por toda a Galáxia, a distância até a mais próxima seria de cerca de duzentos anos-luz. Mesmo à velocidade da luz, uma mensagem levaria dois séculos para chegar de lá até aqui. Se fomos nós que começamos o diálogo, seria como se a pergunta tivesse sido feita por Johannes Kepler e a resposta, recebida por nós. Sobretudo porque, neófitos na radioastronomia como somos, devemos ser comparativamente

atrasados, e a civilização que está transmitindo para nós deve ser avançada; é que para nós faz mais sentido escutar do que enviar mensagens. Para uma civilização mais avançada, as posições estão, é claro, invertidas.

Estamos nos estágios iniciais de nossa busca, por rádio, de outras civilizações no espaço. Numa fotografia óptica de um grande campo estelar há centenas de milhares de estrelas. Segundo nossas estimativas mais otimistas, uma delas será lugar de uma civilização avançada. Mas qual? Em direção a quais estrelas apontar nossos radiotelescópios? Dos milhões de estrelas que podem marcar a localização de civilizações avançadas até agora, examinamos pelo rádio não mais do que alguns milhares. Fizemos um décimo de 1% do esforço que isso exige. Porém uma busca séria, rigorosa, sistemática logo vai acontecer. As fases preparatórias já estão em andamento, tanto nos Estados Unidos quanto na União Soviética.*** É relativamente barato. Um único navio de guerra de tamanho médio — digamos, um destróier moderno — pagaria um programa de uma década na procura de inteligência extraterrestre.

Encontros amistosos não têm sido a regra na história humana, na qual contatos transculturais foram diretos e físicos, muito diferentes da recepção de um sinal de rádio, contato tão leve e suave quanto um beijo. Mesmo assim, será instrutivo examinar um ou dois casos de nosso passado, nem que seja só para calibrar nossas expectativas: no período entre as revoluções americana e francesa, Luís XVI, da França, preparou uma expedição ao oceano Pacífico, uma viagem com objetivos científicos, geográficos, econômicos e nacionalistas. O comandante foi o conde de La Pérouse, conhecido explorador que tinha lutado pelos Estados Unidos na sua Guerra de Independência. Em julho de 1786, quase um ano depois de partir, ele chegou às costas do Alasca, num lugar hoje chamado baía de Lituya. Ficou encantado com o porto e escreveu: “Nenhum porto no universo poderia oferecer mais vantagens”. Nessa localização exemplar, escreve La Pérouse,

> notamos a presença de alguns selvagens, que fizeram sinais amistosos, mostrando e acenando com mantos brancos e diversas peles. Muitas das canoas desses índios estavam pescando na baía [...]. [Fomos] cercados sem parar pelas canoas dos selvagens, que nos ofereciam peixe, peles de lontra e de outros animais, bem como diversos pequenos artigos de sua indumentária em troca de nosso ferro. Para nossa grande surpresa, eles pareciam estar bem acostumados a esse tráfico e barganhavam conosco com tanta habilidade quanto qualquer comerciante da Europa.

Os nativos americanos faziam barganhas cada vez mais difíceis. Para aborrecimento de La Pérouse, eles recorreram ao furto também, sobretudo de objetos de ferro, mas, uma vez, dos uniformes de oficiais navais franceses que estavam escondidos sob seus travesseiros, enquanto dormiam certa noite, cercados por guardas armados — um feito digno de Harry Houdini. La Pérouse cumpriu as ordens do rei de se comportar de maneira pacífica, mas reclamou de que os nativos “acreditam que nossa tolerância é inesgotável”. Ele desdenhava da sociedade deles. Porém não houve nenhum dano sério causado por uma cultura à outra. Após reaprovisionar seus dois navios, La Pérouse zarpou da baía de Lituya para nunca mais voltar. A expedição se perdeu no Pacífico Sul em 1788; La Pérouse e os membros de sua tripulação, menos um, pereceram.[2]

Um século depois, Cowee, um chefe dos tlingits, relatou ao antropólogo canadense G. T. Emmons uma história sobre o primeiro encontro de seus antepassados com homens brancos, uma narrativa que foi transmitida apenas por via oral. Os tlingits não tinham registros escritos e Cowee

nunca tinha ouvido falar de La Pérouse. Esta é a paráfrase da história de Cowee:

> Uma vez no final da primavera parte dos tlingits aventurou-se a ir para o norte, para Yakutat, a fim de negociar com cobre. O ferro era ainda mais precioso, mas não era obtenível. Ao entrar na baía de Lituya, quatro canoas foram engolidas pelas ondas. Quando os sobreviventes acamparam e choravam seus companheiros perdidos, dois objetos estranhos entraram na baía. Ninguém sabia o que eram. Pareciam dois grandes pássaros pretos com imensas asas brancas. Os tlingits acreditavam que o mundo tinha sido criado por um grande pássaro que com frequência assumia a forma de um corvo, uma ave que tinha libertado o Sol, a Lua e as estrelas das caixas nas quais tinham estado presos. Quem olhava para o corvo era transformado em pedra. Cheios de medo, os tlingits fugiram para a floresta e se esconderam. Mas depois de algum tempo, ao ver que nada de mal lhes acontecera, alguns espíritos mais intrépidos saíram do esconderijo e enrolaram folhas de uma planta malcheirosa para fazer lunetas rudimentares, acreditando que isso impediria que se transformassem em pedra. Olhando por elas, parecia que os grandes pássaros estavam recolhendo suas asas e que bandos de pequenos mensageiros pretos surgiam de seus corpos e se arrastavam por suas penas.
>
> Então um velho guerreiro quase cego reuniu o grupo e anunciou que a maior parte de sua vida já passara; para o bem comum, ele iria descobrir se o corvo transformaria seus filhos em pedra. Vestindo seu manto de pele de lontra marinha, ele entrou em sua canoa e remou mar adentro, em direção ao corvo. Subiu nele e ouviu vozes estranhas. Com sua visão deficiente, mal podia distinguir os muitos vultos obscuros que se moviam a sua frente. Talvez fossem corvos. Quando voltou a salvo para seu povo, os tlingits se reuniram a sua volta, surpresos ao ver que estava vivo. Tocaram-no e cheiraram-no para ver se era ele mesmo. Depois de muito refletir, o velho convenceu-se de que não fora o deus-corvo que ele tinha visitado, e sim uma canoa gigante construída por homens. As figuras escuras não eram corvos, mas pessoas, de vários tipos. Convenceu os tlingits, que então visitaram os navios e trocaram suas peles por muitos artigos estranhos, sobretudo de ferro.

Os tlingits tinham preservado em forma de tradição oral um relato reconhecível e acurado de seu primeiro e quase completamente pacífico encontro com uma cultura estranha.[3] Se um dia fizermos contato com uma civilização extraterrestre mais avançada, será o encontro amplamente pacífico, mesmo na falta de uma comunicação, como aquele dos franceses com os tlingits, ou seguirá algum protótipo mais sinistro, no qual a sociedade um pouco mais avançada destrói a sociedade tecnicamente mais atrasada? No início do século XVI uma alta civilização floresceu no México central. Os astecas tinham uma arquitetura monumental, formas elaboradas de manutenção de registros, uma arte primorosa e um calendário astronômico superior a qualquer um na Europa. Ao ver os artefatos astecas trazidos pelos primeiros navios que chegaram com tesouros mexicanos, o artista Albrecht Dürer escreveu, em agosto de 1520:

> Nunca tinha visto algo que tanto alegrasse meu coração. Vi [...] um sol todo de ouro com uma braça inteira de largura [na verdade, o calendário astronômico asteca]; da mesma forma, uma lua toda de prata, igualmente grande [...] e também dois aposentos cheios de todo tipo de armas, armaduras e outros armamentos maravilhosos, tudo isso mais digno de ser visto do que maravilhas.

Intelectuais ficaram perplexos com os livros dos astecas, “os quais”, disse um deles, “quase se parecem com os dos egípcios”. Hernán Cortés descreveu sua capital, Tenochtitlán, como

> uma das cidades mais bonitas do mundo [...]. As atividades e o comportamento das pessoas são quase de tão alto nível quanto na Espanha, assim como bem organizados e ordenados. Considerando que essas pessoas são bárbaras, sem o conhecimento de Deus e sem comunicação com outras nações civilizadas, é notável ver o que elas têm.

Dois anos após ter escrito essas palavras, Cortés destruiu Tenochtitlán, junto com o resto da civilização asteca. Eis um relato asteca:

> Montezuma [o imperador asteca] ficou chocado, horrorizado com o que ouviu. Ele estava intrigado com a comida deles, mas o que

> quase o fez desmaiar foi o relato de como o grande canhão lombardo, em poder dos espanhóis, disparava a bala que troava quando saía. O barulho podia deixar alguém fraco, tonto. Algo como uma pedra saía dele numa chuva de fogo e centelhas. A fumaça era suja, tinha um cheiro enjoativo, fétido. E a bala, ao se chocar com uma montanha, fazia-a em pedaços — dissolvia-a. Reduzia uma árvore a serragem — a árvore desaparecia como se tivesse explodido [...]. Quando contaram tudo isso a Montezuma, ele ficou aterrorizado. Seu coração fraquejou.

Relatos continuavam a chegar: "Não somos tão fortes quanto eles", disseram a Montezuma. "Não somos nada comparados com eles." Os espanhóis começaram a ser chamados "os deuses que vieram dos céus." Contudo, os astecas não tinham ilusões quanto a eles, os quais descreviam com estas palavras:

> Eles estavam interessados no ouro, pareciam macacos, os rostos brilhando. Sua avidez por ouro era clara e insaciável. Estavam famintos por ele; cobiçavam-no; queriam rechear-se com ele como se fossem porcos. Assim, eles o ficavam manuseando, pegando correntes de ouro, movendo-as para cá e para lá, apertando-as contra o corpo, balbuciando, tagarelando entre eles.

Porém sua percepção do caráter dos espanhóis não os ajudou a se defenderem. Em 1517 um grande cometa tinha sido visto no México. Montezuma, impressionado com a lenda da volta do deus asteca Quetzalcoatl como um homem de pele branca chegando depois de atravessar o mar oriental, de imediato mandou executar seus astrólogos. Eles não tinham previsto o cometa e não o tinham explicado. Certo de uma iminente catástrofe, Montezuma se tornou distante e sombrio. Com a ajuda da superstição dos astecas e de sua tecnologia superior, um contingente de quatrocentos europeus armados e seus aliados nativos, em 1521, derrotou e destruiu uma grande civilização de 1 milhão de pessoas. Os astecas nunca tinham visto um cavalo; esse animal não existia no Novo Mundo. Nunca tinham aplicado a metalurgia do ferro na guerra. Não tinham inventado armas de fogo. Mesmo assim, a defasagem tecnológica entre eles e os espanhóis não era muito grande, talvez de uns poucos séculos.

Devemos ser a sociedade técnica mais atrasada da Galáxia. Qualquer sociedade ainda mais atrasada não teria radioastronomia. Se essa triste experiência que é o conflito cultural na Terra fosse o padrão galáctico, parece que já teríamos sido destruídos, talvez com alguma admiração passageira por Shakespeare, Bach e Vermeer. Mas isso não aconteceu. Talvez as intenções alienígenas sejam total e inabalavelmente benignas, mais como as de La Pérouse do que como as de Cortés. Ou será, apesar de todas as suposições quanto a óvnis e antigos astronautas, que nossa civilização ainda não foi descoberta?

Por um lado sustentamos que mesmo que só uma pequena fração das civilizações técnicas tenha aprendido a viver consigo mesma e com armas de destruição em massa, teríamos agora um enorme número de civilizações avançadas na Galáxia. Já temos um lento voo interestelar e achamos que um voo interestelar rápido é um objetivo possível para a espécie humana. Por outro lado, reiteramos que não há evidência crível de a Terra ter sido visitada, agora ou quando quer que seja. Isso não é uma contradição? Se a civilização mais próxima estiver, digamos, a uma distância de duzentos anos-luz, levaria apenas duzentos anos vir de lá para cá a uma velocidade próxima à da luz. Mesmo a 1%, ou um décimo de 1% da velocidade da luz, seres de civilizações próximas poderiam ter vindo no período de existência da humanidade na Terra. Por que não estão aqui? Há muitas respostas possíveis. Embora isso contradiga o legado de Aristarco e Copérnico, talvez sejamos os primeiros.

Alguma civilização técnica teria de ser a primeira a surgir na história da Galáxia. Talvez estejamos enganados em nossa crença de que pelo menos algumas civilizações conseguem vez ou outra evitar a autodestruição. Talvez haja algum problema imprevisto no voo espacial interestelar — conquanto, em velocidades muito menores do que a da luz, seja difícil imaginar que empecilhos seriam esses. Ou talvez eles estejam aqui, mas às ocultas, por causa de alguma *Lex Galactica*, alguma não intervenção ética em civilizações emergentes. Podemos imaginá-los, curiosos e desapaixonados, nos observando, como fazemos com uma cultura bacteriana num prato de ágar-ágar, para determinar se, mais uma vez este ano, conseguiremos evitar nossa autodestruição.

Mas há outra explicação consistente com tudo que sabemos. Se muitos anos atrás uma civilização avançada que faz exploração interestelar surgiu a uma distância de duzentos anos-luz, ela não teria motivo para supor que havia algo de especial na Terra, a menos que já houvesse chegado até aqui. Nenhum artefato tecnológico humano, nem nossas transmissões de rádio, teria tido tempo, mesmo viajando à velocidade da luz, de viajar duzentos anos-luz. Do ponto de vista deles, todos os sistemas estelares próximos são, mais ou menos, igualmente atraentes para ser explorados ou colonizados.[4]

Uma civilização técnica emergente, após explorar seu próprio sistema planetário e desenvolver o voo espacial interestelar, começaria lenta e experimentalmente a explorar as estrelas mais próximas. Algumas estrelas não teriam planetas compatíveis com a existência de vida — talvez fossem todos gigantescos mundos de gás ou pequenos asteroides. Outras carregariam com eles um séquito de planetas compatíveis, mas alguns já seriam habitados, ou a atmosfera seria venenosa, ou o clima, inadequado. Em muitos casos os colonizadores teriam de mudar — ou, como diríamos paroquialmente, "terraformar" — um mundo para torná-lo ameno. A reengenharia de um planeta levaria tempo. Vez ou outra, um mundo já compatível seria encontrado e colonizado. A utilização de recursos planetários para que se possam construir novas espaçonaves interestelares seria um processo lento. Mais tarde uma missão de segunda geração para exploração e colonização partiria para estrelas onde ninguém tivesse estado. E desse modo uma civilização poderia devagar abrir caminho entre os mundos, como se fosse uma trepadeira.

É possível que, em algum tempo ulterior, com colônias de terceira ordem e superiores desenvolvendo novos mundos, outra civilização independente em expansão fosse descoberta. Muito provavelmente contatos recíprocos já teriam sido feitos pelo rádio ou por outros meios remotos. Os recém-chegados seriam um tipo diferente de sociedade colonial. É concebível que duas civilizações em expansão com diferentes necessidades planetárias ignorem uma à outra, as filigranas de seus padrões de expansão se entrelaçando, mas não conflitando. Podem cooperar na exploração de uma região da Galáxia. Mesmo civilizações próximas poderiam passar milhões de anos nessas expedições coloniais separadas ou conjuntas sem nunca deparar com nosso obscuro sistema solar.

Nenhuma civilização poderá sobreviver a uma fase de exploração interestelar a menos que limite seus habitantes. Qualquer sociedade com acentuada explosão populacional será obrigada a dedicar todas as suas energias e habilitação tecnológica para alimentar e cuidar da população no planeta que é seu lar natural. Essa é uma conclusão de grande alcance e de modo algum baseada nas idiossincrasias de determinada civilização. Em qualquer planeta, não importa sua biologia ou sistema social, um aumento exponencial da população consumirá todos os recursos. Inversamente,

toda civilização que se envolva para valer em exploração e colonização interestelar deve ter um crescimento populacional zero ou muito perto disso, durante muitas gerações. Mas uma civilização com uma taxa baixa de crescimento populacional levará bastante tempo para colonizar muitos mundos, mesmo se as restrições a um rápido crescimento da população forem amenizadas depois de se chegar a um luxuriante paraíso.

Meu colega William Newman e eu calculamos que se há 1 milhão de anos uma civilização exploradora do espaço com uma taxa baixa de crescimento populacional aparecesse a uma distância de duzentos anos-luz e se espalhasse para fora, colonizando mundos compatíveis ao longo do caminho, suas espaçonaves de reconhecimento estariam entrando em nosso sistema solar somente agora. Porém 1 milhão de anos é muito tempo. Se a civilização mais próxima fosse mais jovem do que isso, ainda não teria chegado até nós. Uma esfera com raio de duzentos anos-luz contém 200 mil sóis e talvez um número análogo de mundos passíveis de colonização. Só depois de 200 mil mundos terem sido colonizados é que, no decorrer normal das coisas, nosso sistema solar seria descoberto por acaso como um lugar que abriga uma civilização nativa.

O que significa para uma civilização ter 1 milhão de anos de existência? Só temos radiotelescópios e naves espaciais há poucas décadas; nossa civilização técnica tem poucas centenas de anos de idade, ideias científicas de cunho moderno, poucos milhares, a civilização em geral, poucas dezenas de milhares de anos; seres humanos evoluíram neste planeta poucos milhões de anos atrás. Considerando nosso estágio atual de progresso técnico, uma civilização avançada com milhões de anos de idade estaria a nossa frente tanto como estamos à frente de um gálago ou um macaco. Será que reconheceríamos sua presença? Será que uma sociedade 1 milhão de anos adiantada em relação a nós estaria interessada em colonização ou voo espacial interestelar? As pessoas têm um tempo de vida limitado por alguma razão. Um progresso imenso nas ciências biológicas e médicas poderia descobrir essa razão e encontrar os remédios adequados. Será que estamos tão interessados em voos espaciais como forma de nos perpetuarmos além de nosso tempo de vida? Uma civilização composta essencialmente de seres imortais poderia considerar a exploração interestelar como infantilidade? Pode ser que não tenhamos sido visitados porque as estrelas se disseminaram de maneira tão abundante na expansão do espaço que antes de uma civilização próxima chegar até nós ela já mudou suas motivações exploratórias ou evoluiu para formas para nós indetectáveis.

Um tema típico na ficção científica e na literatura sobre óvnis é que os extraterrestres são tidos como mais ou menos tão capacitados quanto nós. Talvez tenham tipos diferentes de espaçonave ou armas emissoras de raios, mas nos combates — e a ficção científica gosta de descrever combates entre civilizações — eles e nós somos equiparados. Na verdade, quase não há possibilidade de que duas civilizações galácticas interajam num mesmo nível. Em qualquer caso de confronto, uma delas sempre dominará por completo a outra. Um milhão de anos é muita coisa. Se uma civilização avançada chegasse em nosso sistema solar, não haveria nada que pudéssemos fazer quanto a isso. Sua ciência e sua tecnologia estariam muito além das nossas. A preocupação com a possibilidade de haver intenções malévolas numa civilização avançada com que possamos entrar em contato não tem sentido. É mais provável que o mero fato de terem sobrevivido por tanto tempo signifique que

aprenderam a viver consigo mesmos e com outros. Talvez nossos temores de contatos extraterrestres sejam mera expressão de nosso próprio atraso, uma expressão de nossa consciência culpada por nossa história pregressa: a devastação causada a civilizações só um pouco mais atrasadas que nós. Lembramo-nos de Colombo e dos aruaques, Cortés e os astecas, mesmo da sina dos tlingits nas gerações posteriores à de La Pérouse. Lembramo-nos e nos preocupamos. Mas se uma armada interestelar aparecer em nossos céus, prevejo que seremos muito receptivos.

Seria muito mais provável um tipo bem diferente de contato — caso que já comentamos, em que receberíamos uma mensagem rica e complexa, talvez por rádio, de outra civilização no espaço, mas sem fazer, ao menos por algum tempo, contato físico com ela. Nesse caso, a civilização que transmitiu a mensagem não teria como saber se a recebemos. Se acharmos que seu conteúdo é ofensivo ou ameaçador, não estaremos obrigados a responder. Mas se a mensagem contiver informação valiosa, as consequências para nossa civilização serão assombrosas — insights sobre ciência e tecnologia, arte, música, política, ética, filosofia e religião alienígenas, e, mais do que tudo, uma profunda desprovincialização da condição humana. Saberemos o que mais é possível.

Como estaremos compartilhando insights científicos e matemáticos com outra civilização, creio que a compreensão da mensagem interestelar será a parte mais fácil do problema. Convencer o Congresso americano e o Conselho de Ministros da União Soviética[5] a financiar uma busca por inteligência extraterrestre é a parte mais difícil. Na verdade, pode ser que essas civilizações estejam divididas em duas grandes categorias: uma na qual cientistas não sejam capazes de convencer não cientistas a autorizar uma busca de inteligência extraplanetária, na qual as energias sejam direcionadas apenas para assuntos internos, na qual as percepções convencionais continuem a não ser desafiadas e a sociedade vacile e recue ante as estrelas; e outra categoria na qual a nobre visão do contato com outras civilizações seja amplamente partilhada e se empreenda uma busca de grande envergadura.

Esse é um dos poucos empreendimentos humanos nos quais mesmo um fracasso será um sucesso. Se procedermos a uma busca rigorosa por sinais de rádio extraterrestres que abranja milhões de estrelas e não ouvirmos nada, concluiremos que as civilizações galácticas são, no melhor dos casos, raríssimas, e isso calibrará nosso lugar no universo. Seria uma expressão eloquente de quão raras são as coisas vivas de nosso planeta, sublinhando, como nenhuma outra coisa o fez na história humana, o valor individual de cada ser humano. E se conseguirmos ouvir um sinal, a história de nossa espécie e de nosso planeta mudará para sempre.

Seria fácil para os extraterrestres criar uma mensagem interestelar artificial inequívoca. Por exemplo, os primeiros dez números primos — números divisíveis apenas por eles mesmos e por 1 — são 1, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19 e 23. É muito improvável que qualquer processo físico natural contenha apenas números primos. Se recebêssemos uma mensagem assim, deduziríamos a existência de uma civilização exterior que pelo menos conhece os números primos. Mas a hipótese mais provável é que essa comunicação interestelar seja uma espécie de palimpsesto, como os palimpsestos de antigos escritores que, na falta de papiro ou de pedra, sobrepunham suas mensagens a mensagens preexistentes. Talvez numa frequência adjacente ou num ritmo mais rápido, haveria outra mensagem, que se revelaria como uma cartilha ou manual, uma introdução à

linguagem do discurso interestelar. Essa cartilha seria repetida uma infinidade de vezes, porque a civilização transmissora não teria como saber quando sintonizamos a mensagem. E depois, num nível mais profundo no palimpsesto, por baixo do sinal que o anuncia e da introdução, estaria a verdadeira mensagem.**** A tecnologia do rádio permite que a mensagem seja de uma riqueza inconcebível. Talvez, quando a sintonizarmos, estaremos no meio do volume 3267 da *Encyclopaedia Galactica*.

Descobriríamos a natureza de outras civilizações. Haveria muitas, cada uma delas formada de organismos espantosamente diferentes de qualquer coisa existente neste planeta. Elas teriam uma visão um tanto diferente do universo. Teriam artes e funções sociais diferentes. Estariam interessadas em coisas nas quais nunca pensamos. Ao comparar nosso conhecimento com o delas, teríamos um crescimento incomensurável. E com nossas recém-adquiridas informações armazenadas em memória de computador, seríamos capazes de ver que tipo de civilização vive em que lugar da Galáxia. Imagine um enorme computador galáctico, um repositório, mais ou menos atualizado, de informação sobre a natureza e as atividades de todas as civilizações na Via Láctea, uma grande biblioteca sobre a vida no cosmos. Talvez entre os conteúdos da *Encyclopaedia Galactica* haja um conjunto de sumários sobre essas civilizações, informações enigmáticas, sedutoras, evocativas — depois que conseguirmos traduzi-las.

Mais tarde, após esperar o tempo que quiséssemos, decidiríamos responder. Transmitiríamos alguma informação sobre nós mesmos — no início apenas o básico —, começando um longo diálogo interestelar, que partiria de nós, porém, devido às vastas distâncias no espaço e à velocidade finita da luz, seria continuado por nossos descendentes remotos. E algum dia, num planeta de alguma estrela muito distante, um ser muito diferente de qualquer um de nós requisitaria um excerto impresso da *Encyclopaedia Galactica* para adquirir alguma informação sobre essa mais nova sociedade a se juntar à comunidade das civilizações galácticas.

Tipo de civilização: 1,8 L.
Código da sociedade: 2A11, “Nós que sobrevivemos”.
Estrela: F0V, espectro variável, $r = 9{,}717$ kpc, $\theta = 0^{\circ}07'51''$, $\phi = 210^{\circ}20'37''$.
Planeta: sexto, $a = 2{,}4 \times 10^{13}$ cm, $M = 7 \times 10^{18}$ g, $R = 2{,}1 \times 10^{9}$ cm, $p = 2{,}7 \times 10^{6}$ s, $P = 4{,}5 \times 10^{7}$ s.
Colônias extraplanetárias: nenhuma.
Idade do planeta: $1{,}14 \times 10^{17}$ s.
Primeiro contato iniciado localmente: $2{,}6040 \times 10^{8}$ s atrás.
Recepção do primeiro código galáctico encaixado: $2{,}6040 \times 10^{8}$ s atrás.
Biologia: C, N, O, H, S, Se, Cl, Br, H_2O, S_8, aletos sufonis poliaromáticos. Autótrofos fotoquimossintéticos móveis em atmosfera fracamente redutora.
Politáxico, monocromomático.
$m \approx 3 \times 10^{12}$ g, $t \approx 5 \times 10^{10}$ s.
Nenhuma prostese genética.
Genomas: $\sim 6 \times 10^{7}$ (bits não redundantes/genoma médio: $\sim 2 \times 10^{12}$).
Tecnologia: exponencial se aproximando do limite assintótico.
Cultura: global, não gregária, polispecífica (dois gêneros, 41 espécies); poesia aritmética.
Prepartum/postpartum: 0,52 [30].
Individual/comunal: 0,73 [14].
Artístico/tecnológico: 0,81 [18].
Probabilidade de sobrevivência (por cem anos): 80%.
Tipo de civilização: 2,3 R.

Código da sociedade: 1H1 “Nós que nos tornamos um”.
Civilização interestelar, sem comunidades planetárias, utiliza 1504 supergigantes, 0V, BV, AV estrelas e pulsares.
Idade da civilização: $6{,}09 \times 10^{15}$ s.
Primeiro contato iniciado localmente: $6{,}09 \times 10^{15}$ s atrás.
Recepção do primeiro código galáctico agrupado: $6{,}09 \times 10^{15}$ s atrás.
Civilização fonte, canal de neutrino.
Grupo local polílogo.
Biologia: C, H, O, Be, Fe, Ge, He, semicondutores 4K orgânicos metal-quelados, tipos variados.
Electrovoros criogênicos supercondutores com denso empacotamento em cristal de nêutron e mineradores de estrelas modulares; politáxico.
Variação de m, $t \approx 5 \times 10^{15}$ s.
Genomas: 6×10^{17} (bits não redundantes/genoma médio: ~3×10^{17}).
Probabilidade de sobrevivência (por 106 anos): 99%.

Sumários computadorizados hipotéticos de duas civilizações avançadas, da Encyclopaedia Galactica. *Por Jon Lomberg e o autor.*

Tipo de Civilização: 1.0 J.
Código da sociedade: 4G4, “Humanidade”.
Estrela: G2V, $r = 9{,}844$ kpc, $\theta = 00^{\circ}05'24''$, $\theta = 206^{\circ}28'49''$.
Planeta: terceiro, $a = 1{,}5 \times 10^{13}$ cm, $M = 6 \times 10^{27}$ g, $R = 6{,}4 \times 10^{8}$ cm, $p = 8{,}6 \times 10^{4}$ s, $P = 3{,}2 \times 10^{7}$ s.
Colônias extraplanetárias: nenhuma.
Idade do planeta: $1{,}45 \times 10^{17}$ s.
Primeiro contato iniciado localmente: $1{,}21 \times 10^{9}$ s atrás.
Recepção do primeiro código galáctico agrupado: aplicação pendente.
Biologia: C, N, O, S, H_2O, PO_4, ácido desoxirribonucleico.
Nenhuma prostese genética.
Heterótrofos móveis, simbiontes com autótrofos fotossintéticos. Habitantes de superfície monoespecíficos, policromáticos. Respiram O_2. Tetrapiroles fe-quelados no fluido circulatório. Mamíferos sexuados. $m \approx 7 \times 10^{4}$ g, $t \approx 2 \times 10^{9}$ s. Genomas: 4×10^{9}.
Tecnologia: exponencial/combustíveis fósseis/armas nucleares/guerra organizada/poluição do meio ambiente.
Cultura: ~200 Estados-nação, ~6 potências globais; homogeneidade cultural e tecnológica a caminho.
Prepartum/postpartum: 0,21 [18].
Individual/comunal: 0,31 [17].
Artístico/tecnológico: 0,14 [11].
Probabilidade de sobrevivência (por cem anos): 40%.

Sumário hipotético de uma civilização técnica recém-surgida, da Encyclopaedia Galactica. *Por Jon Lomberg e o autor.*

---

* Até o momento, a lista de sondas interestelares só ganhou mais um membro: a *New Horizons*, lançada em 2006. A única sonda a deixar os domínios do sistema solar foi a *Voyager 1*. (N. R. T.)

** São ondas geradas pelo desequilíbrio da força da gravidade com o empuxo em um fluido, como as ondas da praia. Não confundir com *ondas gravitacionais*, como as originadas na colisão de buracos negros fazendo “oscilar” o tecido do espaço-tempo. (N. R. T.)

*** A astrobiologia é uma área da pesquisa científica que está florescendo nos dias de hoje. (N. R. T.)

**** Os conceitos explorados neste capítulo são também desenvolvidos no romance e filme *Contatos*, de autoria de Carl Sagan. (N. R. T.)

13. Quem fala em nome da Terra?

Com que propósito deveria eu me incomodar em ir buscar os segredos das estrelas, tendo morte e escravidão o tempo todo diante de meus olhos?

Pergunta feita por Anaxímenes a Pitágoras, *c.* 600 a.C., segundo Montaigne

Como devem ser vastos esses orbes, e quão desprezível é a Terra, o Teatro no qual todos os nossos poderosos projetos, todas as nossas navegações e todas as nossas guerras são transacionados, quando comparada com eles. É uma consideração muito apropriada, e matéria para reflexão, quanto a esses reis e príncipes que sacrificam a vida de tanta gente, só para se jactarem em sua ambição de serem senhores de algum canto miserável deste pequeno lugar.

Christiaan Huygens, *Novas conjecturas a respeito de mundos planetários, seus habitantes e suas produções*, *c.* 1690

Olhamos em retrospecto para incontáveis milhões de anos e vemos a grande vontade de viver irrompendo para fora da lama entre as ondas, irrompendo de forma em forma e de poder em poder, arrastando-se e depois caminhando confiante na terra, lutando durante gerações inteiras para dominar o ar, rastejando para a escuridão das profundezas; nós a vemos voltar-se contra si mesma na fúria e na fome, e ganhar nova forma, nós a vemos ficar cada vez mais semelhante a nós, expandindo-se, elaborando-se, perseguindo seu inabalável e inconcebível propósito, até por fim chegar até nós e seu ser palpitar em nosso cérebro e artérias [...]. É possível acreditar que todo o passado não é mais do que o começo de um começo, e que tudo que é e que foi não é senão o crepúsculo do amanhecer. É possível acreditar que tudo que a mente humana jamais realizou não é senão o sonho antes do despertar [...]. De nossa [...] linhagem surgirão mentes que voltarão a nós, em nossa pequenez, para saber de nós mais do que sabemos sobre nós mesmos. Dia virá, um dia na infindável sucessão de dias, em que seres, seres que hoje são latentes em nossos pensamentos e ocultos em nossas ilhargas, estarão de pé sobre esta Terra como se fica de pé sobre um banquinho, e estenderão as mãos entre as estrelas.

H. G. Wells, "The Discovery of the Future", *Nature*, n. 65, p. 326, 1902

O cosmos só foi descoberto ontem. Durante 1 milhão de anos esteve claro para todos que não havia outros lugares além da Terra. Então, no último décimo de 1% do tempo de vida de nossa espécie, num instante entre Aristarco e nós mesmos, percebemos com relutância que não éramos o centro e a razão de ser do universo, e sim que vivíamos num mundo minúsculo e frágil perdido na imensidão e na eternidade, à deriva num grande oceano cósmico pontilhado aqui e ali por 100 bilhões de galáxias e 1 bilhão de trilhão de estrelas. Corajosamente, pusemos a mão na água para testá-la e descobrimos um oceano compatível conosco, em ressonância com nossa natureza. Algo em nós reconhece o cosmos como nosso lar. Somos feitos de cinza estelar. Nossa origem e nossa evolução têm sido ligadas a eventos cósmicos distantes. A exploração do cosmos é uma jornada de autodescobrimento.

Como já sabiam os antigos criadores de mitos, somos filhos tanto do céu como da Terra. Em nossa posse deste planeta acumulamos uma perigosa bagagem evolucionária, propensões hereditárias para agressão e ritual, submissão a líderes, hostilidade com forasteiros, o que de algum modo põe em questão nossa sobrevivência. Mas também adquirimos compaixão para com os outros,

amor a nossos filhos e aos filhos de nossos filhos, vontade de aprender com a história e uma grande, sublime e apaixonada inteligência — que são os evidentes instrumentos de nossa continuada sobrevivência e prosperidade. Não há certeza quanto a quais aspectos de nossa natureza prevalecerão, sobretudo quando nossa visão, nosso entendimento e nossas perspectivas estão ligados exclusivamente à Terra — ou, pior, a uma pequena parte dela. Porém lá em cima, na imensidão do cosmos, uma perspectiva inescapável nos aguarda. Ainda não há sinais evidentes de uma inteligência extraterrestre, e isso faz com que nos perguntemos se civilizações como a nossa não estariam se lançando para a autodestruição. Não se veem fronteiras nacionais quando se observa a Terra a partir do espaço. É difícil manter um fanatismo étnico ou religioso, ou um chauvinismo nacional, quando vemos nosso planeta como um frágil crescente azul dissolvendo-se para se tornar um inconspícuo ponto de luz contra o bastião e a cidadela das estrelas. Viajar é ampliar horizontes.

Existem mundos nos quais a vida nunca se manifestou. Existem mundos que foram carbonizados e destruídos por catástrofes cósmicas. Temos a felicidade de estar vivos; somos poderosos; o bem-estar de nossa civilização e de nossa espécie está em nossas mãos. Se não falarmos em nome da Terra, quem o fará? Se não estivermos comprometidos com nossa própria sobrevivência, quem estará?

A espécie humana está envolvida agora num grande empreendimento que, se bem-sucedido, será tão importante quanto a colonização da terra firme e a descida das árvores. De maneira hesitante, estamos tentando quebrar as correntes da Terra — em termos metafóricos, ao confrontar e subjugar as admoestações do cérebro mais primitivo que existe dentro de nós; fisicamente, viajando para os planetas e escutando as mensagens das estrelas. Esses dois empreendimentos estão indissoluvelmente ligados. Cada um deles, creio, é condição necessária para o outro. Mas nossas energias têm sido muito mais direcionadas para a guerra. Hipnotizados por desconfianças mútuas, quase nunca levando em consideração as espécies ou o planeta, as nações se preparam para a morte. E como o que estamos fazendo é tão terrível, tendemos a não pensar muito nisso. Mas aquilo que não levamos em consideração é improvável que possamos corrigir.

Toda pessoa pensante teme uma guerra nuclear e todo Estado tecnológico tem planos para ela. Todos sabem a loucura que ela representa e toda nação tem um pretexto para ela. Existe uma abominável cadeia de causalidade: os alemães estavam trabalhando na bomba no início da Segunda Guerra Mundial; por isso os americanos tiveram de construí-la primeiro. Se os americanos têm uma, os soviéticos têm de ter uma, depois os britânicos, os franceses, os chineses, os indianos, os paquistaneses… No final do século XX muitas nações reuniram armas nucleares. É fácil projetá-las e construí-las. Material fissionável podia ser roubado de reatores nucleares. Armas nucleares tornaram-se quase uma indústria caseira.

As bombas convencionais da Segunda Guerra Mundial foram chamadas de arrasa-quarteirão. Com vinte toneladas de TNT, eram capazes de destruir um quarteirão de uma cidade. Todas as bombas despejadas em todas as cidades durante o conflito somaram cerca de 2 milhões de toneladas, dois megatons, de TNT — Coventry e Rotterdam, Dresden e Tóquio, toda a morte que choveu dos céus entre 1939 e 1945: 100 mil quarteirões, dois megatons. No final do século XX, dois

megatons é a quantidade de energia liberada de uma única e mais ou menos prosaica bomba termonuclear: uma só bomba com a força destrutiva de todas as bombas da Segunda Guerra Mundial. Mas há dezenas de milhares de armas nucleares. Na nona década do século XX os mísseis estratégicos e os bombardeiros da União Soviética e dos Estados Unidos têm como alvo de suas ogivas 15 mil pontos designados. Nenhum lugar no planeta é seguro. A energia contida nessas armas, gênios do mal à espera, pacientes, de que os Aladins esfreguem as lâmpadas, é muito mais que 10 mil megatons — porém com a destruição eficientemente concentrada não no decorrer de seis anos, mas de algumas horas, uma arrasa-quarteirão para cada família no planeta, uma Segunda Guerra Mundial em cada segundo no decorrer de uma tarde ociosa.

A causa imediata das mortes num ataque nuclear são as ondas de choque — que podem arrasar prédios pesadamente reforçados a muitos quilômetros de distância —, a tempestade de fogo, os raios gama e os nêutrons, que fritam quem está dentro de casa ou passando na rua. Uma estudante que sobreviveu ao ataque americano em Hiroshima, o evento que pôs fim à Segunda Guerra Mundial, escreveu este relato em primeira mão:

> Numa escuridão que parecia o fundo do inferno, eu ouvia as vozes de outros alunos chamando por suas mães. E na base da ponte, dentro de uma grande cisterna que tinha sido cavada ali, havia uma mãe chorando, segurando acima da cabeça um bebê desnudo, queimado num vermelho vivo por todo o corpo. E outra mãe chorava e soluçava enquanto oferecia o seio queimado a seu bebê. Na cisterna os alunos estavam só com a cabeça acima da água, as duas mãos juntas e entrelaçadas enquanto gritavam e berravam, implorando, chamando por seus pais. Mas cada uma das pessoas que passava estava ferida, todas elas, e não havia ninguém, não havia ninguém para quem se voltar por ajuda. E os cabelos chamuscados na cabeça das pessoas estavam frisados, esbranquiçados e cobertos de poeira. Não pareciam ser humanos, nem criaturas deste mundo.

A explosão em Hiroshima, ao contrário da subsequente, em Nagasaki, se deu no ar, muito acima da superfície, e o *fallout*, a precipitação radioativa, foi insignificante. Mas em 1º de março de 1954, um teste de arma termonuclear no atol de Bikini, nas ilhas Marshall, teve potência maior do que a esperada. Uma grande nuvem radioativa desceu sobre o pequeno atol de Rongalap, a 150 quilômetros de distância, onde os habitantes compararam a explosão a um sol que nascia no oeste. Algumas horas depois, cinza radioativa caía sobre Rongalap como se fosse neve. A dose média recebida foi de apenas 175 rads, pouco menos da metade da dose necessária para matar uma pessoa. Como o local ficava longe da explosão, não morreu muita gente. Claro que o estrôncio radioativo que os habitantes comeram concentrou-se em seus ossos e o iodo radioativo concentrou-se em sua tireoide. Dois terços das crianças e um terço dos adultos tiveram depois anomalias na tireoide, crescimento retardado e tumores malignos. Em compensação, os ilhéus de Marshall receberam cuidados médicos especializados.

A potência da bomba de Hiroshima foi de apenas treze quilotons, o equivalente a 13 mil toneladas de TNT. A potência do teste em Bikini foi de quinze megatons. Num confronto nuclear total, no auge de uma guerra termonuclear, o equivalente a 1 milhão de bombas de Hiroshima seria despejado por todo o mundo. Na mesma proporção de mortalidade de Hiroshima, onde cerca de 100 mil pessoas morreram com uma bomba de treze quilotons, isso seria suficiente para matar 100 bilhões de pessoas. Mas no final do século XX há menos de 5 bilhões de pessoas no planeta. Claro que nesse confronto nem todos morreriam com a explosão e o fogo, a radiação e a precipitação

radioativa — embora a precipitação se prolongue por mais tempo: 90% do estrôncio-90 decai em 96 anos; 90% do césio-137, em cem anos; 90% do iodo-131, em apenas um mês.

Os sobreviventes poderiam testemunhar consequências da guerra mais sutis. Um confronto nuclear total queimaria o nitrogênio nas camadas superiores do ar, convertendo-o em óxidos de nitrogênio, que por sua vez destruiriam uma quantidade significativa de ozônio na alta atmosfera, permitindo a entrada de uma dose intensa de radiação solar ultravioleta.[1] * O fluxo ultravioleta aumentado duraria muitos anos. Causaria câncer de pele, sobretudo em pessoas de pele clara. Muito mais importante, afetaria a ecologia do planeta de um modo que hoje desconhecemos. A luz ultravioleta destruiria colheitas. Muitos micro-organismos seriam mortos; não sabemos quais nem em que quantidades, nem as consequências disso. Os organismos que morreriam podem, até onde sabemos, ser a base de uma ampla pirâmide ecológica no topo da qual estamos nós.

A poeira posta no ar por um confronto nuclear total refletiria a luz solar e esfriaria um pouco a Terra. Mesmo um pequeno resfriamento pode ter consequências desastrosas para a agricultura. Pássaros são mortos pela radiação com mais facilidade do que insetos. Pragas de insetos e como resultado mais transtornos agrícolas são uma provável sequela de uma guerra nuclear. Há outro tipo de praga com o qual se preocupar: a do bacilo da peste, endêmica em toda a Terra. No final do século XX humanos não morrem muito de peste — não porque ela não exista, mas porque a resistência a ela é elevada. No entanto, a radiação produzida numa guerra nuclear, entre seus muitos outros efeitos, debilitaria o sistema imunológico, causando uma deterioração de nossa capacidade de resistir a doenças. A longo prazo, haveria mutações, novas variedades de micróbios e insetos que poderiam causar ainda mais problemas aos sobreviventes de um holocausto nuclear; e talvez, após um intervalo, quando tivesse havido tempo bastante para que as mutações recessivas se recombinassem e se manifestassem, haveria novas e horrendas variedades de seres humanos. A maior parte dessas mutações, quando manifesta, seria letal. Poucas não seriam. E haveria então outras tragédias: a perda de entes queridos; as legiões de queimados, cegos e mutilados; doença, peste, venenos radioativos perdurando no ar e na água; a ameaça de tumores e de crianças natimortas e malformadas; a carência de cuidados médicos; a desesperançada noção de que uma civilização foi destruída por nada; saber que poderíamos ter evitado isso e não o fizemos.

L. F. Richardson foi um meteorologista britânico interessado na guerra. Ele queria entender suas causas. Há analogias intelectuais entre a guerra e o clima. Ambos manifestam regularidades, o que implica que não são forças implacáveis, e sim sistemas naturais que podem ser compreendidos e controlados. Para compreender o clima global é preciso primeiro coletar um grande corpo de dados meteorológicos; descobrir como o clima de fato se comporta. Nossa abordagem deve ser a mesma, concluiu Richardson, se quisermos compreender a guerra. Assim, ele coletou dados referentes às centenas de guerras que tinham sido travadas em nosso pobre planeta entre os anos 1820 e 1945.

Os resultados obtidos por Richardson foram publicados num livro póstumo chamado *The Statistics of Deadly Quarrels* [Estatísticas de conflitos mortais]. Como estava interessado em saber quanto tempo se passaria até haver uma guerra com determinado número de vítimas, ele definiu um índice, M, que representa a magnitude de uma guerra, ou o número de mortes que ela causa

diretamente. Uma guerra de magnitude M = 3 seria uma mera escaramuça, matando apenas mil pessoas (10^3). M = 5 ou M = 6 denotam guerras mais sérias, em que 100 mil (10^5) ou 1 milhão (10^6) de pessoas são mortas. A Primeira e a Segunda Guerras Mundiais têm magnitudes mais elevadas. Ele descobriu que quanto mais pessoas morrem numa guerra, menos provável é que ela ocorra e mais tempo transcorre antes de ela ocorrer, assim como tempestades violentas ocorrem com menos frequência do que aguaceiros.

Richardson propôs que, continuando a traçar a curva até valores muito pequenos de M, chegando a M = 0, os intervalos de tempo seriam uma predição da incidência de assassinatos em âmbito mundial; em algum lugar do mundo alguém é assassinado a cada cinco minutos. Assassinatos individuais e guerras em maior escala, disse ele, são duas extremidades de um mesmo continuum, uma curva sem inflexões. Daí se segue, não num sentido trivial, mas também, creio, num sentido profundamente psicológico, que a guerra é assassinato com um mandado muito maior. Quando nosso bem-estar é ameaçado, quando nossas ilusões quanto a nós mesmos são desafiadas, tendemos — ao menos alguns de nós — a ser tomados por uma sanha homicida. E quando as mesmas provocações são feitas a Estados nacionais eles também às vezes são tomados de uma sanha homicida, atiçada com bastante frequência por aqueles que buscam poder pessoal ou lucro. Mas à medida que a tecnologia do assassinato se aprimora e as penalidades da guerra aumentam, muita gente tem de ser tomada ao mesmo tempo de uma sanha homicida para que se desencadeie uma grande guerra. Como os órgãos de comunicação de massa em geral estão nas mãos do Estado, pode-se, comumente, se arranjar isso. (A guerra nuclear é exceção. Ela pode ser desencadeada por um número muito pequeno de pessoas.)

Vemos aqui um conflito entre nossas paixões e o que é às vezes chamado de nossa melhor índole; entre a profunda e antiga parte reptiliana do cérebro, o complexo-R, no comando da sanha homicida, e as mais recentemente desenvolvidas partes mamíferas e humanas do cérebro, o sistema límbico e o córtex cerebral. Quando humanos viviam em grupos pequenos, nossas armas eram irrisórias e mesmo um guerreiro enfurecido poderia matar só umas poucas pessoas. À medida que nossa tecnologia se aprimorou, os meios para a guerra também se aprimoraram. No mesmo e breve intervalo, *nós* também nos aprimoramos. Com a razão, aprendemos a moderar nossa raiva, nossa frustração e nosso desespero. Sanamos em escala planetária injustiças que ainda há pouco eram globais e endêmicas. Mas nossas armas agora podem matar bilhões. Nós nos aprimoramos com rapidez suficiente? Estamos pregando a razão de maneira tão efetiva quanto poderíamos? Estudamos com coragem bastante as causas da guerra?

Aquilo que com frequência é chamado de estratégia de dissuasão nuclear é notável por se apoiar no comportamento de nossos ancestrais não humanos. Henry Kissinger, político americano contemporâneo, escreveu: “A dissuasão depende, acima de tudo, de critérios psicológicos. Para fins de dissuasão, um blefe levado a sério é mais útil do que uma ameaça séria interpretada como blefe”. Um blefe nuclear verdadeiramente efetivo, no entanto, inclui ocasionais atitudes de irracionalidade, um avanço para os horrores da guerra nuclear. Então, o inimigo potencial é tentado a ceder em pontos em disputa em vez de desencadear um confronto global, que a aura de irracionalidade tornou plausível. O principal perigo de adotar uma postura de irracionalidade em

que se possa acreditar é que para dar resultado você tem de fazer isso muito bem. Após algum tempo, você fica acostumado com isso. E deixa de ser fingimento.

O equilíbrio global do terror, cujos pioneiros e líderes são os Estados Unidos e a União Soviética, tem como reféns os cidadãos da Terra. Cada lado traça os limites do comportamento permitido ao outro. O inimigo em potencial deve ter certeza de que, se o limite for transgredido, uma guerra nuclear se seguirá. No entanto, a definição de limites muda de tempos em tempos. Cada lado tem de estar confiante em que o outro compreende quais são os novos limites. Cada lado é tentado a aumentar seu potencial militar de forma a ter vantagem sobre o outro, mas não de modo tão abrupto que o possa alarmar com seriedade. Cada lado explora sem cessar os limites de tolerância do outro, como em voos de bombardeiros nucleares sobre as vastidões desertas do Ártico; as guerras do Vietnã e do Afeganistão — alguns itens de uma longa e dolorosa lista. O equilíbrio global do terror é muito delicado. Depende de que coisas não deem errado, de que não se cometam erros, de que as paixões reptilianas não assomem seriamente.

Voltamos, assim, a Richardson. No diagrama, a linha cheia é o tempo de espera por uma guerra de magnitude M — isto é, o tempo médio que teríamos de esperar para testemunhar uma guerra que matará 10M pessoas (em que M representa o número de zeros depois do um, em nossa costumeira aritmética exponencial). O que aparece como uma barra vertical à direita do diagrama é a população nos anos recentes, que chegou a 1 bilhão de pessoas (M = 9) por volta de 1835 e agora é de cerca de 4,5 bilhões (M = 9,7). Quando a curva de Richardson cruzar a barra vertical, teremos especificado o tempo de espera para o Dia do Juízo Final: quantos anos faltam para que a população da Terra seja dizimada em alguma grande guerra. Com a curva de Richardson e a mais simples projeção para o crescimento futuro da população humana, as duas curvas não se interceptarão até o século XXX mais ou menos, e assim o Dia do Juízo Final está postergado.

Mas a Segunda Guerra Mundial teve magnitude M = 7,7: cerca de 50 milhões de militares e de não combatentes foram mortos. A tecnologia da morte avançou ominosamente. Armas nucleares foram usadas pela primeira vez. Há poucos indícios de que as motivações e propensões para a guerra tenham diminuído desde então, e tanto o armamento convencional quanto o nuclear tornaram-se ainda mais mortais. Assim, o topo da curva de Richardson está se inclinando para baixo numa medida não conhecida. Se a nova posição estiver na região sombreada da figura, pode ser que só faltem algumas décadas para o Dia do Juízo Final. Uma comparação mais detalhada da incidência de guerras após 1945 pode ajudar a esclarecer essa questão. Trata-se de muito mais que uma preocupação passageira.

Isso é apenas outro modo de dizer o que já sabemos há décadas: o desenvolvimento de armas nucleares e dos sistemas de fazê-las chegar a seus alvos, cedo ou tarde, levará à catástrofe global. Muitos dos cientistas americanos e europeus emigrados que desenvolveram as primeiras armas nucleares ficaram profundamente angustiados com o demônio que deixaram solto no mundo. Apelaram pela abolição de armas nucleares. Mas não se deu atenção a seu apelo; a perspectiva de uma vantagem estratégica nacional galvanizou tanto a União Soviética quanto os Estados Unidos, e começou a corrida nuclear.

No mesmo período, houve um crescente comércio internacional de um devastador armamento

não nuclear candidamente chamado de “convencional”. Nos últimos 25 anos, em dólares corrigidos pela inflação, o comércio internacional de armas passou de 300 milhões para 20 bilhões de dólares. Nos anos entre 1950 e 1968, para os quais parece haver boas estatísticas, ocorreram, em média, vários acidentes em âmbito mundial envolvendo armas nucleares por ano, embora talvez não mais de uma ou duas explosões nucleares acidentais. O establishment bélico na União Soviética, nos Estados Unidos e em outras nações é grande e poderoso. Nos Estados Unidos, inclui grandes corporações famosas por suas indústrias domésticas. Segundo uma estimativa, os lucros corporativos na aquisição de armas militares são de 30% a 50% mais elevados do que num mercado civil igualmente tecnológico e competitivo. Os custos incorridos em sistemas de armas militares são permitidos numa escala que seria considerada inaceitável na esfera civil. Na União Soviética os recursos, a qualidade, a atenção e o cuidado dispensados à produção militar estão em marcante contraste com o pouco que é destinado a bens de consumo. Segundo algumas estimativas, quase metade dos cientistas e de tecnólogos de algum nível na Terra está empregada em tempo integral ou parcial em atividades de natureza militar. Os que estão envolvidos no desenvolvimento e fabricação de armas de destruição em massa ganham salários, gratificações e, onde possível, homenagens públicas nos mais altos níveis praticados em suas respectivas sociedades. O sigilo em torno do desenvolvimento de armas, levado a proporções especialmente extravagantes na União Soviética, implica que os indivíduos nele empregados nunca precisam admitir responsabilidade por suas ações. Estão protegidos e são anônimos. O segredo militar torna esse setor o mais difícil de ser monitorado pelos cidadãos de qualquer sociedade. Se não sabemos o que eles fazem, é muito difícil detê-los. E com uma remuneração tão substancial, com os estamentos militares apoiando um ao outro num horrendo abraço recíproco, o mundo descobre que está à deriva para o desastre definitivo do empreendimento humano.

Toda grande potência tem alguma justificativa ampla e publicamente anunciada para a aquisição e a acumulação de armas de destruição em massa, que com frequência inclui um reptiliano lembrete dos supostos defeitos de caráter e culturais de inimigos potenciais (como hostis a nós, valentes companheiros), ou das intenções alheias, mas nunca as nossas, de conquistar o mundo. Toda nação parece ter sua coleção de assuntos e possibilidades proibidos, sobre os quais é preciso impedir a qualquer custo que seus cidadãos e adeptos sequer pensem seriamente. Na União Soviética, isso inclui o capitalismo, Deus e a renúncia à soberania nacional; nos Estados Unidos, o socialismo, o ateísmo e a renúncia à soberania nacional. O mesmo acontece no resto do mundo.

Como poderíamos explicar a corrida armamentista global a um observador extraterrestre imparcial? Como poderíamos justificar os mais recentes desenvolvimentos de satélites assassinos, armas emissoras de feixes de partículas, a laser, bombas de nêutrons, mísseis de cruzeiro e a proposta de aproveitar áreas do tamanho de pequenos países no projeto de ocultação de cada míssil balístico internacional sob centenas de disfarces? Alegaríamos que 10 mil ogivas nucleares apontando para seus alvos servem para aumentar a probabilidade de nossa sobrevivência? Que explicação poderíamos dar para nossa maneira de administrar o planeta Terra? Ouvimos as racionalizações apresentadas pelas superpotências nucleares. Sabemos quem fala pelas nações. Mas quem fala pela espécie humana? Quem fala pela Terra?

Cerca de dois terços da massa do cérebro humano está no córtex cerebral, dedicado à intuição e à razão. O homem evoluiu de modo gregário. Gostamos da companhia uns dos outros; preocupamo-nos uns com os outros. Cooperamos. O altruísmo é inerente a nós. Deciframos com brilhantismo alguns dos padrões da natureza. Temos motivação bastante para trabalharmos juntos e a capacidade de conceber como fazê-lo. Se estamos prontos a contemplar uma guerra nuclear e a destruição total de nossa emergente sociedade global, não deveríamos também estar prontos a contemplar uma reestruturação total de nossas sociedades? De uma perspectiva extraterrestre, nossa civilização global está à beira do fracasso na tarefa mais importante que enfrenta: preservar a vida e o bem-estar dos cidadãos do planeta. Não deveríamos então estar prontos a explorar vigorosamente, em cada nação, grandes mudanças no modo tradicional de fazer as coisas, uma reformulação fundamental de instituições econômicas, políticas, sociais e religiosas?

Diante de tão inquietante alternativa, somos sempre tentados a minimizar a gravidade do problema, a afirmar que os que se preocupam com dias de juízo finais são alarmistas; a sustentar que mudanças fundamentais em nossas instituições são impraticáveis ou contrárias à "natureza humana", como se a guerra nuclear fosse praticável ou como se houvesse apenas uma natureza humana. Ainda não aconteceu uma guerra nuclear em escala total. De algum modo isso leva à implicação de que nunca acontecerá. Mas podemos passar por ela uma única vez. Então será tarde demais para reformular nossas estatísticas.

O governo americano é um dos poucos que de fato mantêm uma agência dedicada a reverter a corrida armamentista. Porém a comparação entre os orçamentos de Departamento de Defesa (153 bilhões de dólares por ano em 1980) e o da Agência de Controle de Armas e Desarmamento (0,018 bilhão de dólares por ano) nos faz relembrar a importância relativa que atribuímos a essas duas atividades. Uma sociedade racional não deveria gastar mais no entendimento e na prevenção do que na preparação de uma próxima guerra? É possível estudar as causas de uma guerra. Hoje em dia nossa compreensão é escassa — talvez porque os orçamentos para o desarmamento têm sido, desde o tempo de Sargão da Acádia, algo que fica entre o ineficaz e o inexistente. Microbiologistas e médicos estudam as doenças sobretudo para curar pessoas. Quase nunca vão atrás dos agentes patogênicos. Vamos estudar a guerra como se fosse, como Einstein com sagacidade a chamou, uma doença infantil. Chegamos a um ponto no qual a proliferação de armas nucleares e a resistência ao desarmamento nuclear ameaça cada pessoa no planeta. Não existem mais interesses especiais ou casos especiais. Nossa sobrevivência depende de dedicarmos nossa inteligência e nossos recursos, em escala maciça, ao controle de nosso próprio destino, a assegurar que a curva de Richardson não se incline para a direita.

Nós, reféns nucleares — todos os povos da Terra —, temos de nos educar quanto às armas convencionais e nucleares. Depois, temos de educar nossos governos. Temos de aprender a ciência e a tecnologia que fornecem a única ferramenta concebível para nossa sobrevivência. Temos de estar dispostos a desafiar corajosamente a sabedoria social, política, econômica e religiosa convencional. Temos de fazer todo o esforço possível para compreender que nossos companheiros humanos, por todo o mundo, *são* humanos. Claro que é difícil dar esses passos. Mas, assim como Einstein respondia quando suas sugestões eram rejeitadas como impraticáveis ou inconsistentes com a

“natureza humana”: Qual é a alternativa?

É típico dos mamíferos acalentar, acariciar, abraçar, mimar, cuidar e amar os filhos, comportamento que os répteis desconhecem. Se é mesmo verdade que o complexo-R e o sistema límbico vivem em incômoda trégua dentro de nosso crânio e ainda compartilham suas antigas predileções, podemos esperar uma afetuosa indulgência parental a encorajar nossa natureza mamífera e a ausência de afeição física a estimular o comportamento reptiliano. Existem algumas evidências disso. Em experimentos de laboratório, Harry e Margaret Harlow descobriram que macacos criados em jaulas e fisicamente isolados — embora pudessem ver, ouvir e sentir o cheiro de seus colegas símios — desenvolveram uma série de traços de rabujice, retraimento, autodestruição e outros tipos de anormalidade. Nos seres humanos observa-se a mesma coisa em crianças criadas sem afeição física — em geral em instituições —, que demonstram de maneira clara um grande sofrimento.

O neuropsicólogo James W. Prescott fez uma impressionante análise estatística transcultural de quatrocentas sociedades pré-industriais e descobriu que culturas que propiciam a afeição física a crianças tendem a não se inclinar para a violência. Mesmo sociedades nas quais não se faz carinho nas crianças desenvolvem adultos não violentos, se a atividade sexual da adolescência não for reprimida. Prescott acredita que culturas com predisposição para a violência são compostas por indivíduos que foram privados — durante pelo menos uma ou duas fases críticas da vida, a infância e a adolescência — dos prazeres do corpo. Onde a afeição física é encorajada, o roubo, a religião organizada e as odiosas exibições de riqueza não são tão conspícuos; naquelas em que as crianças são punidas fisicamente, a tendência é haver escravidão, assassinato, tortura e mutilação dos inimigos, culto à inferioridade das mulheres e a crença em uma ou mais entidades sobrenaturais que intervêm na vida diária.

Não compreendemos o comportamento humano bem o bastante para ter certeza quanto ao mecanismo que subjaz a esses relacionamentos, embora possamos fazer conjecturas. Mas as correlações são significativas. Prescott escreve:

> O provável percentual em que uma sociedade se torna violenta se ela propiciar afeição física a suas crianças *e* for tolerante com um comportamento sexual pré-marital é de 2%. A probabilidade de que essa relação entre os parâmetros seja só uma casualidade é de uma para 125 mil. Não tenho conhecimento de qualquer outra variável relativa ao desenvolvimento que apresente tão elevado grau de validade preditiva.

Crianças são ávidas por manifestações físicas de afeto; adolescentes são fortemente compelidos para a atividade sexual. Se tiverem isso, podem-se desenvolver sociedades nas quais os adultos terão pouca tolerância para a agressão, a territorialidade, o ritual e a hierarquia social (embora no processo de crescimento as crianças possam se deparar com esses comportamentos reptilianos). Se Prescott tem razão, numa era de armas nucleares e de anticoncepcionais eficazes, os maus-tratos infantis e a severa repressão sexual são crimes contra a humanidade. Há uma clara necessidade de que essa tese instigante seja mais trabalhada. Enquanto isso, podemos fazer uma contribuição pessoal e incontroversa para o futuro do mundo abraçando com ternura nossas crianças.

Se as inclinações para a escravidão e o racismo, a misoginia e a violência estão conectadas — como sugerem o caráter dos indivíduos e a história humana, assim como estudos transculturais —, há lugar para otimismo. Estamos cercados de mudanças fundamentais recentes na sociedade. Nos dois últimos séculos, a abjeta escravidão, que nos acompanhou durante milhares de anos ou mais, foi eliminada quase por completo numa comovente revolução de âmbito planetário. Mulheres, protegidas durante milênios, às quais, tradicionalmente, era negado um real poder político e econômico, estão cada vez mais se tornando, mesmo nas sociedades mais atrasadas, parceiras do homem em igualdade de condições. Pela primeira vez na história moderna, grandes guerras de agressão foram detidas, devido em parte à rejeição dos cidadãos às nações agressoras. As antigas exortações a um fervor nacionalista e a um orgulho ufanista começaram a perder força. Talvez devido à elevação do padrão de vida, crianças estão sendo mais bem tratadas em todo o mundo. Em apenas algumas décadas, mudanças de abrangência global começaram a seguir na direção necessária para a sobrevivência humana. Está se desenvolvendo uma nova consciência de que constituímos todos uma só espécie.

"Superstição [é] covardia diante do Divino", escreveu Teofrasto, que viveu na época em que foi fundada a Biblioteca de Alexandria. Habitamos um universo no qual átomos são criados nos centros das estrelas; onde a cada segundo nascem mil sóis; onde a vida surge em centelhas disparadas pela luz solar e relâmpagos nos ares e nas águas de planetas jovens; onde a matéria-prima para a evolução biológica origina-se às vezes da explosão de uma estrela a meio caminho da travessia da Via Láctea; onde algo tão belo como uma galáxia se forma 100 bilhões de vezes — um cosmos de quasares e quarks, flocos de neve e vaga-lumes, onde pode haver buracos negros, outros universos e civilizações extraterrestres cujas mensagens de rádio estão neste momento chegando à Terra. Quão pálidas são, em comparação, as pretensões da superstição e da pseudociência; como é importante para nós praticar e compreender a ciência, esse empreendimento caracteristicamente humano.

Cada aspecto na natureza revela um profundo mistério e toca nosso sentimento de admiração e reverência. Teofrasto tinha razão. Os que têm medo do universo como ele de fato é, os que alegam um conhecimento não existente e concebem um cosmos centrado nos seres humanos preferirão o conforto fugaz da superstição. Eles preferem evitar o mundo a enfrentá-lo. Mas os que têm a coragem de explorar a tessitura e a estrutura do cosmos, mesmo que difiram profundamente de seus desejos e de seus preconceitos, esses penetrarão em seus mais recônditos mistérios.

Não há na Terra outra espécie que pratique a ciência. Ela é, até agora, uma invenção inteiramente humana, evoluída, pela seleção natural, no córtex cerebral, por uma única razão: funciona. Não é perfeita. Pode ser mal usada. É apenas uma ferramenta. Mas é, de longe, a melhor ferramenta que temos, autocorretiva, progressiva, aplicável a tudo. Tem duas regras. Primeira: não existem verdades sagradas; toda suposição tem de ser examinada de maneira crítica; argumentos com base em autoridade são desprovidos de valor. Segunda: o que for inconsistente com os fatos tem de ser descartado ou revisto. Temos de entender o cosmos como ele é, e não confundi-lo com o que gostaríamos que fosse. O óbvio é às vezes falso; o inesperado é às vezes verdadeiro. Seres humanos por toda parte compartilham os mesmos objetivos quando o contexto é amplo o bastante.

E o estudo do cosmos provê o mais amplo contexto possível. A atual cultura global é uma espécie de arrogante recém-chegada. Surge num estágio planetário que se segue a 4,5 bilhões de anos de outros eventos e, após olhar em volta durante alguns milhares de anos, declara-se possuidora de verdades eternas. Porém, num mundo que está mudando com tanta rapidez como o nosso, essa é a receita certa para o desastre. Nenhuma nação, nenhuma religião, nenhum sistema econômico, nenhum corpo de conhecimento é capaz de saber todas as respostas que concernem a nossa sobrevivência. Deve haver muitos sistemas sociais que funcionariam muito melhor do que qualquer um hoje existente. Segundo nossa tradição científica, nossa tarefa é descobri-los.

Apenas uma vez, em nossa história pregressa, houve a promessa de uma brilhante civilização científica. Beneficiária do despertar jônico, ela tinha sua cidadela na Biblioteca de Alexandria, onde, 2 mil anos atrás, as melhores mentes da Antiguidade estabeleceram os fundamentos do estudo sistemático da matemática, física, biologia, astronomia, literatura, geografia e medicina. Ainda estamos construindo sobre essas fundações. A biblioteca foi construída e sustentada pelos Ptolomeu, os reis gregos que herdaram a porção egípcia do império de Alexandre, o Grande. Desde a época de sua criação, no século III a.C., até sua destruição, sete séculos depois, ela foi o cérebro e o coração do mundo antigo.

Alexandria foi a capital das publicações do planeta. Não havia, é claro, máquinas de impressão na época. Os livros eram caros, cada exemplar era copiado à mão. A biblioteca era o repositório das cópias mais exatas do mundo. A arte da edição crítica foi inventada lá. O Antigo Testamento chegou até nós sobretudo das traduções para o grego feitas na Biblioteca de Alexandria. Os Ptolomeu dedicaram muito de sua enorme riqueza à aquisição de cada livro grego, assim como obras vindas da África, Pérsia, Índia, Israel e outras partes do mundo. Ptolomeu III Evérgeta quis tomar de empréstimo de Atenas os manuscritos originais dos exemplares oficiais, pertencentes ao Estado, das grandes e antigas tragédias de Sófocles, Ésquilo e Eurípides. Para os atenienses, elas eram uma espécie de patrimônio cultural — algo como seriam, na Inglaterra, as cópias manuscritas originais e os primeiros fólios de Shakespeare. Os gregos relutaram em deixar que os manuscritos saíssem de suas mãos mesmo por um momento; só depois que Ptolomeu garantiu seu retorno com o depósito de uma enorme quantia, eles concordaram em emprestar as peças. Mas Ptolomeu considerava esses rolos mais valiosos que ouro ou prata. Ele alegremente abriu mão do depósito que fizera e guardou, da melhor maneira que pôde, os originais na biblioteca, como num santuário. Ultrajados, os atenienses tiveram de se conformar com as cópias que Ptolomeu, só um pouco envergonhado, lhes deu de presente. Raras vezes um Estado se dedicou com tal avidez à busca do conhecimento.

Os Ptolomeu não coletaram apenas conhecimento já estabelecido; eles incentivaram e financiaram pesquisas científicas, gerando, com isso, novos conhecimentos. Os resultados foram assombrosos. Eratóstenes calculou com precisão o tamanho da Terra, mapeou-a e argumentou que se poderia chegar à Índia navegando para o oeste a partir da Espanha. Hiparco antecipou que as estrelas nascem e se movimentam devagar no decurso de séculos e mais tarde morrem; foi ele quem catalogou pela primeira vez as posições e magnitudes das estrelas e detectou essas mudanças.

Euclides produziu um compêndio sobre geometria com o qual humanos estudaram durante 23 séculos, uma obra que ajudaria a despertar o interesse científico de Kepler, Newton e Einstein. Galeno escreveu obras básicas sobre cura de doenças e anatomia, que dominaram a medicina até a Renascença. E houve, como já observamos, muitos outros.

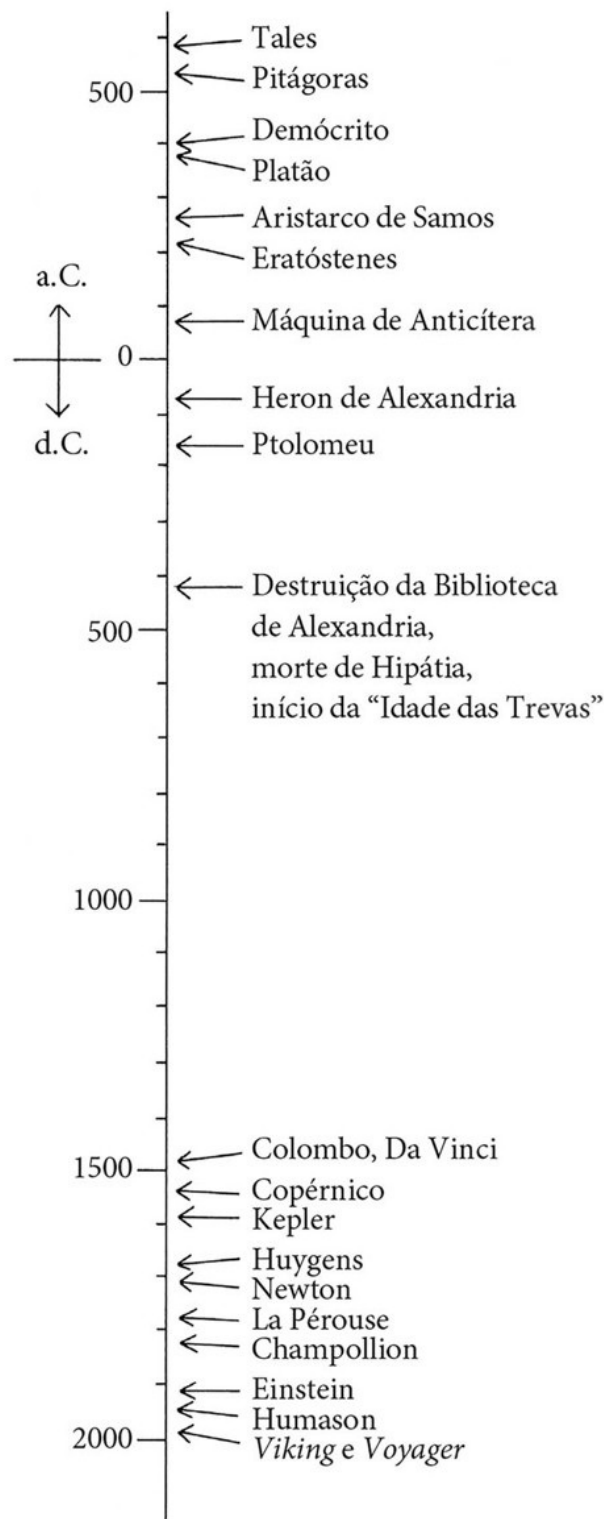
Alexandria era a maior cidade que o mundo ocidental jamais vira. Pessoas de todas as nações iam até lá para viver, negociar, estudar. Todo dia seus portos estavam abarrotados de mercadores, eruditos e turistas. Era a cidade em que gregos, egípcios, árabes, sírios, hebreus, persas, núbios, fenícios, italianos, gauleses e iberos trocavam mercadorias e ideias. Talvez tenha sido lá que a palavra *cosmopolita* adquiriu seu verdadeiro significado — cidadão não de uma nação, mas do cosmos.[2] Ser um cidadão do Cosmos…

Ali estavam, visíveis, as sementes do mundo moderno. O que evitou que elas criassem raízes e germinassem? Por que, em vez disso, o Ocidente mergulhou em mil anos de escuridão até que Colombo, Copérnico e seus contemporâneos redescobrissem a obra que fora feita em Alexandria? Não tenho uma resposta simples para isso. Mas sei uma coisa: não há registro, em toda a história da biblioteca, de que qualquer um de seus ilustres cientistas e eruditos tenha alguma vez desafiado para valer as premissas políticas, econômicas e religiosas de sua sociedade. A permanência das estrelas era questionada; a justiça da escravidão, não. A ciência e o estudo em geral eram reservados a uns poucos privilegiados. A vasta população da cidade não tinha a mais vaga noção das grandes descobertas que aconteciam na biblioteca. Novos achados não eram explicados nem popularizados. A pesquisa pouco beneficiava o povo. Descobertas na tecnologia da mecânica e do vapor eram aplicadas sobretudo no aperfeiçoamento de armas, no estímulo à superstição, na diversão de reis. Os cientistas nunca aproveitaram o potencial das máquinas para libertar pessoas.[3] As grandes conquistas intelectuais da Antiguidade tinham poucas aplicações práticas imediatas. A ciência nunca capturou a imaginação das multidões. Não havia um contrabalanço para a estagnação, o pessimismo, a mais abjeta rendição ao misticismo. Quando, por fim, a turba se pôs a queimar e destruir a biblioteca, não havia ninguém para detê-la.

A última cientista que trabalhou na biblioteca foi uma matemática, astrônoma, física e líder da escola neoplatônica de filosofia — um âmbito extraordinário de realizações para qualquer indivíduo em qualquer época. Seu nome era Hipátia. Ela nasceu em Alexandria em 370. Numa época em que as mulheres tinham poucas opções e eram tratadas como propriedade, Hipátia movimentava-se livre e sem constrangimento em domínios tradicionalmente masculinos. Segundo todos os relatos, era uma mulher de grande beleza. Tinha muitos pretendentes, mas rejeitou todas as propostas de casamento. A Alexandria dos tempos de Hipátia — então havia muito tempo sob domínio romano — era uma cidade que vivia sob grande tensão. A escravidão tinha exaurido a civilização clássica de sua vitalidade. A crescente Igreja cristã consolidava seu poder e tentava erradicar a influência e a cultura pagãs. Hipátia estava no epicentro dessas poderosas forças sociais. Cirilo, o arcebispo de Alexandria, a desprezava devido à estreita amizade que ela mantinha com o governador romano e por ser um símbolo do estudo e da ciência, que a Igreja antiga identificava amplamente com o paganismo. Correndo grande perigo, ela continuou a ensinar e a publicar, até que, no ano de 415, a caminho do trabalho, foi cercada por um bando de fanáticos paroquianos de

Cirilo. Eles a tiraram de sua carruagem, rasgaram suas roupas e, armados com conchas de haliote, um tipo de molusco, arrancaram a carne de seus ossos. Seus restos mortais foram queimados, suas obras, obliteradas, seu nome, esquecido. Cirilo foi santificado.

A glória da Biblioteca de Alexandria é uma lembrança difusa. Seus últimos remanescentes foram destruídos pouco após a morte de Hipátia. Foi como se toda a civilização tivesse sido submetida a uma autocirurgia cerebral, e a maior parte de sua memória, suas descobertas, ideias e paixões, irrevogavelmente extinta. A perda foi incalculável. Em alguns casos conhecemos apenas os fascinantes títulos das obras destruídas. Na maioria dos casos não conhecemos nem os títulos nem os autores. Sabemos que, das 123 peças de Sófocles que havia na biblioteca, apenas sete sobreviveram. Uma delas é *Édipo rei*. Números semelhantes aplicam-se a obras de Ésquilo e Eurípides. É um pouco como se as únicas obras sobreviventes de um homem chamado William Shakespeare fossem *Coriolano* e *Conto de inverno*, quando ouvimos dizer que ele escreveu outras peças, desconhecidas para nós, mas ao que tudo indica muito bem consideradas em sua época, intituladas *Hamlet*, *Macbeth*, *Júlio César*, *Rei Lear*, *Romeu e Julieta*.

Do conteúdo físico dessa gloriosa biblioteca, não restou um único rolo. Na moderna Alexandria poucas pessoas manifestam admiração ou interesse, muito menos um conhecimento detalhado da biblioteca ou da grande civilização egípcia que a precedeu em milhares de anos. Acontecimentos mais recentes, outros imperativos culturais ganharam primazia. O mesmo vale para o resto do mundo. Temos apenas o mais tênue contato com nosso passado. E a uma distância muito pequena das ruínas do Serapeu há remanescentes de muitas civilizações: enigmáticas esfinges do Egito faraônico; uma grande coluna erigida ao imperador romano Diocleciano por um lacaio da província, por não ter aquele permitido que todos os cidadãos de Alexandria morressem de fome; uma igreja cristã; muitos minaretes; e as marcas da moderna civilização industrial — prédios de apartamentos, automóveis, bondes, favelas urbanas, uma torre de retransmissão de micro-ondas. Há milhares de fios provenientes do passado se entretecendo para formar as cordas e os cabos do mundo moderno.

Linha do tempo com algumas das pessoas, máquinas e acontecimentos descritos neste livro. A máquina de Anticítera era um computador astronômico desenvolvido na Grécia Antiga. Heron de Alexandria fazia experimentos com motores a vapor. A brecha de milênios no meio desse diagrama representa uma pungente oportunidade perdida pela espécie humana.

Nossas conquistas apoiam-se nas realizações de 40 mil gerações de nossos predecessores humanos, os quais, com exceção de uma minúscula fração, estão todos esquecidos. Vivemos deparando com uma grande civilização, como a antiga cultura de Ebla, que floresceu há apenas um milênio e sobre a qual nada sabemos. Como somos ignorantes de nosso passado! Inscrições, papiros, livros ligam através do tempo a espécie humana e nos permitem ouvir as poucas vozes e débeis gritos de nossos irmãos e irmãs, nossos ancestrais. E como é grande a alegria do reconhecimento quando constatamos como eram parecidos conosco!

Neste livro demos atenção a alguns de nossos ancestrais cujos nomes não se perderam: Eratóstenes, Demócrito, Aristarco, Hipátia, Leonardo da Vinci, Kepler, Newton, Huygens, Champollion, Humason, Goddard, Einstein — todos eles representantes da cultura ocidental porque a civilização científica emergente em nosso planeta é sobretudo a civilização ocidental; mas cada cultura — China, Índia, África Ocidental, Mesoamérica — fez suas grandes contribuições a nossa sociedade global e teve seus pensadores seminais. Por meio de avanços tecnológicos nas comunicações, nosso planeta está nos estágios finais de se ligar, num ritmo avassalador, numa única sociedade global. Se formos capazes de conseguir a integração da Terra sem obliterar diferenças culturais nem destruir a nós mesmos, teremos alcançado uma grande realização.

Perto de onde ficava a Biblioteca de Alexandria existe hoje uma esfinge sem cabeça esculpida na época do faraó Horemheb, na XVIII dinastia, um milênio antes de Alexandre. Desse corpo leonino avista-se com facilidade uma moderna torre de retransmissão de micro-ondas. Entre esses dois pontos estende-se um nunca rompido fio na história da espécie humana. Da esfinge à torre há um instante de tempo cósmico — um momento nos cerca de 15 bilhões de anos decorridos desde o Big Bang. Quase todo o registro da passagem do universo de então até agora foi espalhado pelos ventos do tempo. A evidência da evolução cósmica tem sido mais meticulosamente devastada do que todos os rolos de papiro da Biblioteca de Alexandria. Ainda assim, com ousadia e inteligência resgatamos alguns vislumbres desse sinuoso caminho ao longo do qual nossos ancestrais e nós temos viajado.

Ao longo de eras desconhecidas, após a emissão explosiva de matéria e energia no Big Bang, o cosmos era disforme. Não existiam galáxias, nem planetas, nem vida. Havia por toda parte uma escuridão profunda, impenetrável, átomos de hidrogênio no vazio. Aqui e ali, acúmulos mais densos de gás estavam aumentando de maneira imperceptível, globos de matéria se condensando — gotas de chuva de hidrogênio com mais massa do que sóis. Dentro desses globos de gás ateava-se pela primeira vez o fogo nuclear latente da matéria. Uma primeira geração de estrelas tinha nascido, inundando o cosmos de luz. Naquele tempo ainda não havia planetas para receber a luz, nem criaturas viventes para admirar a radiância dos céus. Bem fundo nas fornalhas estelares a alquimia da fusão nuclear criava elementos pesados, as cinzas do hidrogênio que ardia, o material atômico de construção dos futuros planetas e das formas de vida. As imensas estrelas logo consumiam seus depósitos de combustível nuclear. Sacudidas por explosões colossais, elas devolviam a maior parte de suas substâncias ao gás rarefeito do qual se tinham uma vez condensado. Nas exuberantes e escuras nuvens entre as estrelas, novas gotas de chuva feitas de muitos elementos se formavam, gerações ulteriores de estrelas que nasciam. Nas proximidades, gotas menores cresciam, corpos pequenos demais para acender o fogo nuclear, gotículas na névoa interestelar no

processo de formar os planetas. Entre elas havia um pequeno mundo de pedra de ferro, a Terra primordial.

Solidificando e se aquecendo, a Terra desprendia metano, amônia, água e gases de hidrogênio que estavam presos em seu interior, formando a atmosfera primitiva e os primeiros oceanos. A luz estelar do Sol banhava e aquecia a Terra primordial, provocava tempestades, gerava relâmpagos e trovões. Vulcões transbordavam em lava. Esses processos fragmentavam moléculas da atmosfera primitiva, os fragmentos uniam-se de novo em formas cada vez mais complexas que se dissolviam nos primeiros oceanos. Após algum tempo os mares assumiram a consistência de uma sopa diluída e quente. Moléculas se organizavam e reações químicas complexas aconteciam na superfície argilosa. E um dia apareceu uma molécula que, por acaso, foi capaz de fazer cópias brutas de si mesma a partir de outras moléculas daquele caldo. Com o tempo, surgiram moléculas autorreprodutoras cada vez mais elaboradas e precisas. Essas combinações, mais aptas a uma replicação subsequente, foram favorecidas pelo crivo da seleção natural. As que copiavam melhor produziam mais cópias. E o caldo oceânico primitivo foi ficando cada vez mais ralo à medida que era consumido e transformado em complexas condensações de moléculas orgânicas autorreplicantes. De maneira gradual e imperceptível, a vida tinha começado.

Plantas unicelulares evoluíram e a vida começou a gerar seu próprio alimento. A fotossíntese transformou a atmosfera. O sexo foi inventado. Formas que tinham sido livres se juntaram para formar uma célula complexa com funções especializadas. Receptores químicos evoluíram e o cosmos se tornou capaz de sentir gosto e cheiro. Organismos unicelulares evoluíram para colônias multicelulares, elaborando suas várias partes em sistemas de órgãos especializados. Desenvolveram-se olhos e ouvidos, e agora o cosmos era capaz de ver e de ouvir. Plantas e animais descobriram que a terra podia sustentar a vida. Organismos zumbiam, rastejavam, corriam, arrastavam-se, deslizavam, adejavam, oscilavam, trepavam e voavam. Animais colossais faziam florestas estremecer com seus passos pesados. Pequenas criaturas emergiam, nascendo livres e não presas em duras conchas, com um fluido semelhante aos primitivos oceanos correndo em suas veias. Sobreviveram graças a sua rapidez e sua astúcia. E depois, há um instante apenas, alguns pequenos animais arborícolas desceram correndo das árvores. Eles passaram a caminhar eretos e aprenderam a usar ferramentas, domesticaram outros animais, as plantas e o fogo, e conceberam a linguagem. A cinza da alquimia estelar agora adquiria consciência. E num ritmo ainda mais acelerado, ela inventou a escrita, as cidades, a arte e a ciência, e enviou espaçonaves para planetas e estrelas. Essas são algumas das coisas que os átomos de hidrogênio fazem, após 15 bilhões de anos de evolução cósmica.

Isso soa, corretamente, como um mito épico. Mas é apenas uma descrição da evolução cósmica como revelada pela ciência contemporânea. Somos difíceis de ser alcançados e um perigo para nós mesmos. Mas qualquer relato da evolução cósmica deixa claro que todas as criaturas da Terra, as últimas produções da indústria galáctica de hidrogênio, são seres que devem ser tratados com carinho. E em outros lugares pode haver outras transmutações de matéria tão assombrosas quanto essa, e assim, ansiosos, esperamos ouvir um zumbido no céu.

Temos alimentado uma noção peculiar de que uma pessoa ou sociedade que seja um pouco

diferente de nós, sejamos quem somos, é de certo modo estranha ou bizarra, digna de desconfiança ou aversão. Pense nas conotações negativas de palavras como *alienígena* ou *forasteiro*. No entanto, os monumentos e culturas de cada uma de nossas civilizações representam meros modos diferentes de ser humano. Um visitante extraterrestre, contemplando as diferenças entre seres humanos e suas sociedades, acharia essas diferenças triviais quando comparadas com as similaridades. O cosmos pode ser densamente povoado de seres inteligentes. Mas a lição darwiniana é clara: não há seres humanos em outros lugares. Só aqui. Só neste pequeno planeta. Somos uma espécie rara e também uma espécie em perigo. Cada um de nós, na perspectiva cósmica, é precioso. Se um ser humano discordar de você, deixe-o viver. Em 100 bilhões de galáxias você não encontrará outro.

A história humana pode ser vista como um lento amanhecer da consciência de que somos membros de um grupo maior. No início nossas lealdades eram com nós mesmos e com nossa família imediata, depois, com bandos nômades de caçadores-coletores, depois com tribos, com pequenos povoados, cidades-Estados, nações. Ampliamos o círculo daqueles de quem gostamos. Agora organizamos o que se descreve modestamente como superpotências, que incluem grupos de pessoas de diversas etnias e contextos culturais, que em certo sentido trabalham juntas — sem dúvida uma experiência humanizadora e de construção de caráter. Se é para sobrevivermos, nossas lealdades devem ser ampliadas ainda mais, para incluir toda a comunidade humana, todo o planeta Terra. Muitos dirigentes de nações acharão essa ideia desagradável. Terão medo de perder o poder. Ouviremos muitos discursos sobre traição e deslealdade. Estados-nação ricos terão de dividir sua riqueza com os pobres. Mas a opção, como disse uma vez H. G. Wells num contexto diferente, é, claramente, ou o universo ou nada.

Alguns milhões de anos atrás não havia seres humanos. Quem estará por aqui dentro de alguns milhões de anos? Em todos os 4,6 bilhões de anos de história de nosso planeta, pouca coisa saiu dele para o espaço. Porém agora pequenas espaçonaves exploratórias não tripuladas oriundas da Terra movem-se, reluzentes e elegantes, pelo sistema solar. Fizemos um reconhecimento preliminar de vinte mundos, entre eles todos os planetas visíveis a olho nu, todas essas luzes noturnas errantes que agitaram nossos ancestrais, levando-os à compreensão e ao êxtase. Se sobrevivermos, nossa época ficará famosa por dois motivos: que neste momento perigoso de adolescência tecnológica conseguimos evitar a autodestruição; e porque esta é a época em que começamos nossa jornada para as estrelas.

A escolha é inflexível e irônica. Os mesmos propulsores a foguete usados para lançar sondas para os planetas estão posicionados para lançar ogivas nucleares contra nações. As fontes de poder radioativo na *Viking* e na *Voyager* derivam da mesma tecnologia que fabrica armas nucleares. As técnicas do rádio e do radar empregadas para rastrear e guiar mísseis balísticos na defesa contra ataques são também usadas para monitorar e comandar as espaçonaves nos planetas e escutar possíveis sinais de civilizações junto a outras estrelas. Se usarmos essas tecnologias para destruir a nós mesmos, é certo que não poderemos mais nos aventurar em outros planetas e estrelas. Mas o inverso também é verdadeiro. Se continuarmos buscando planetas e estrelas, nosso chauvinismo sofrerá mais um abalo. Assumiremos uma perspectiva cósmica. Reconheceremos que nossas

explorações só podem ser realizadas em nome de todos os povos do planeta Terra. Investiremos nossas energias num empreendimento dedicado não à morte, e sim à vida: a expansão de nossa compreensão da Terra e de seus habitantes na busca de vida em outro lugar. A exploração espacial — tripulada e não tripulada — utiliza muito do mesmo conhecimento tecnológico e organizacional, e requer o mesmo comprometimento com a coragem e a ousadia que exige a empreitada da guerra. No caso de se chegar a um verdadeiro desarmamento antes de eclodir uma guerra nuclear, essa exploração permitiria que o establishment industrial-militar das grandes potências se engajasse por fim num empreendimento inatacável. Os interesses investidos nos preparativos para a guerra poderiam ser reinvestidos com facilidade na exploração do cosmos.

Um programa razoável — até mesmo ambicioso — de exploração não tripulada dos planetas não é dispendioso. Os orçamentos para as ciências espaciais nos Estados Unidos e na União Soviética juntos representam o equivalente a dois ou três submarinos nucleares por década, ou os custos de manutenção de um entre os muitos sistemas de armas num único ano. No último trimestre de 1979, o custo do programa dos caças americanos F/A-18 teve um aumento de 5,1 bilhões de dólares, e o dos caças F-16, de 3,4 bilhões. Desde seu início, nos programas de exploração planetária não tripulada tanto dos Estados Unidos quanto da União Soviética, foi gasto muitíssimo menos do que o que foi desperdiçado vergonhosamente, por exemplo, entre 1970 e 1975 nos bombardeios americanos no Camboja, uma aplicação de política nacional que custou 7 bilhões de dólares. O custo total de uma missão como a da *Viking* a Marte, ou da *Voyager* a outro sistema solar, é menor do que o da invasão soviética ao Afeganistão em 1979-80. Graças ao emprego técnico que suscita e ao estímulo à alta tecnologia, o dinheiro gasto na exploração espacial tem um efeito de multiplicador econômico. Um estudo sugere que, para cada dólar gasto na exploração de planetas, retornam sete dólares para a economia nacional. E existem ainda muitas missões importantes e factíveis que não foram tentadas devido à falta de fundos — entre elas o uso de veículos que percorram a superfície de Marte, um encontro com um cometa, sondas para Titã e uma busca em escala total de sinais de rádio vindos de outras civilizações no espaço.

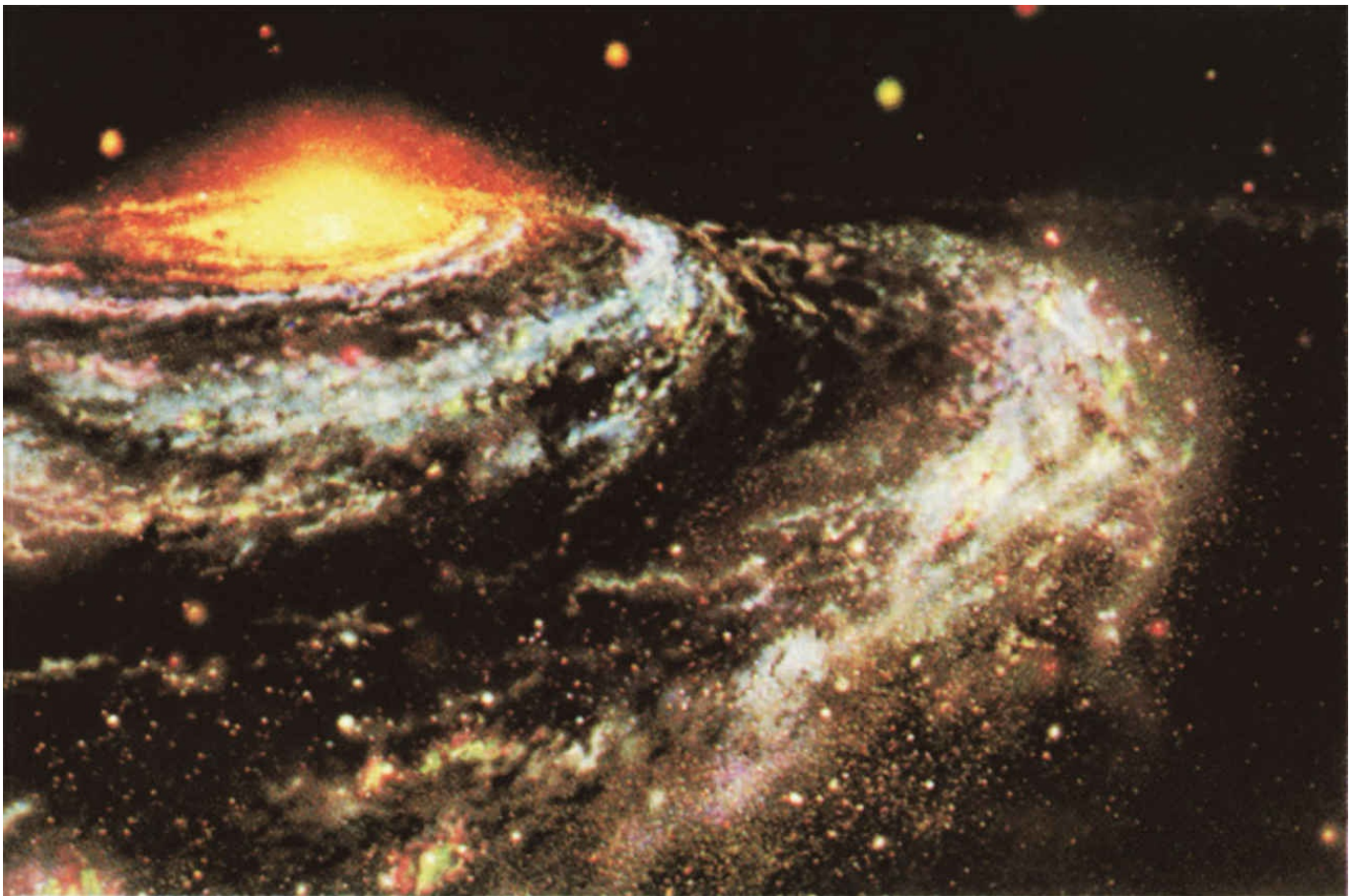
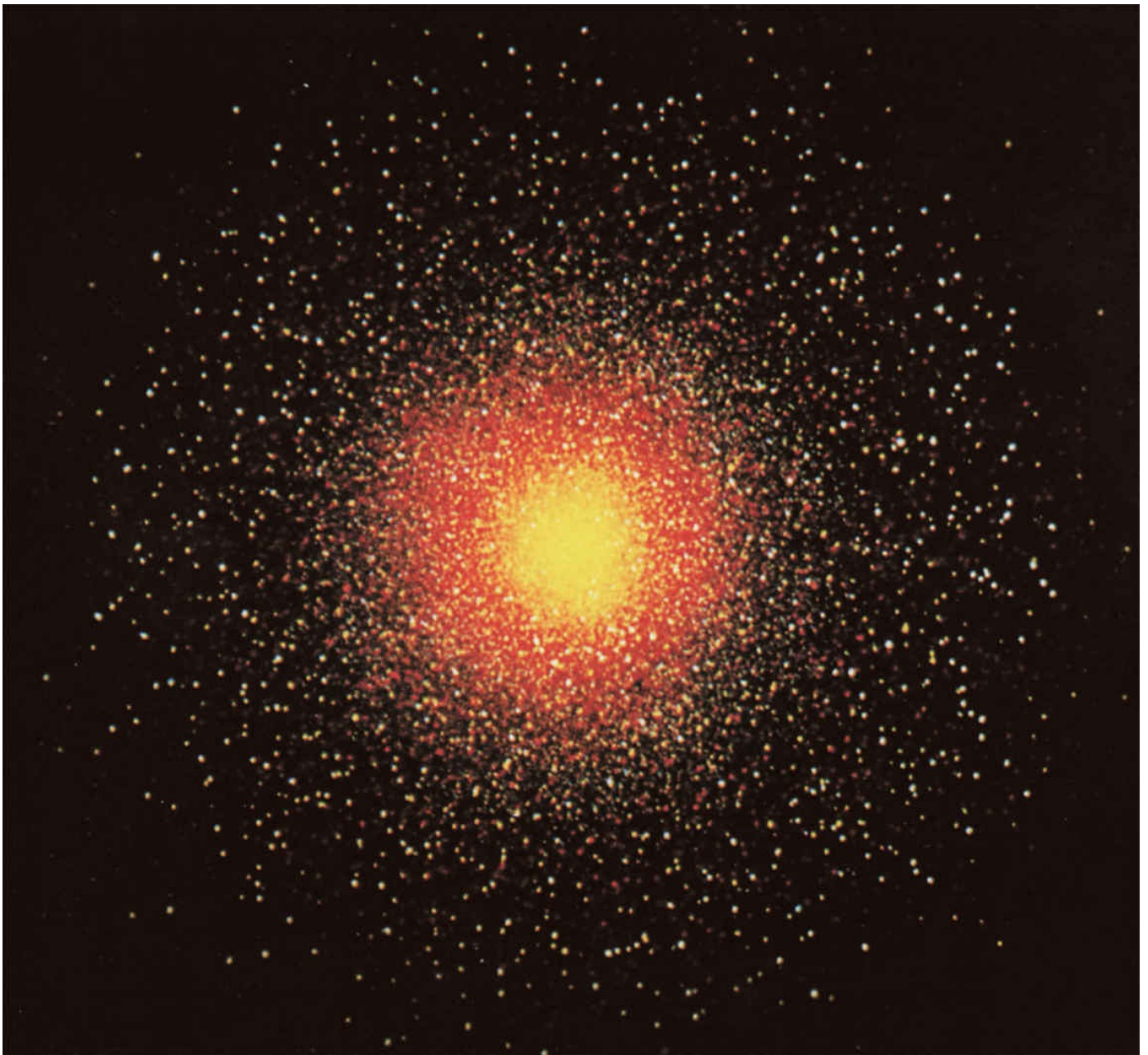
O custo de grandes empreendimentos no espaço — bases permanentes na Lua, ou a exploração de Marte por seres humanos, digamos — é tão alto que eles não terão lugar num futuro próximo, assim creio, a menos que ocorra um progresso dramático no desarmamento nuclear e "convencional". Mesmo assim, é provável que haja necessidades mais prementes aqui na Terra. Mas não tenho dúvida de que, se conseguirmos evitar a autodestruição, cedo ou tarde realizaremos essas missões. É quase impossível manter uma sociedade estática. Há um componente que é uma espécie de interesse psicológico: mesmo uma pequena tendência a um entrincheiramento, de afastamento do cosmos, acaba levando no decorrer de gerações a um significativo declínio. E ao contrário, mesmo um ligeiro compromisso com explorações fora da Terra — que poderíamos chamar, parodiando Colombo, de "empresa das estrelas" — levaria no decorrer de muitas gerações a uma significativa presença humana em outros mundos, ao júbilo por participarmos do cosmos.

Cerca de 3,6 milhões de anos atrás, no que hoje é o norte da Tanzânia, um vulcão entrou em erupção e a nuvem de cinzas resultantes cobriu as savanas à sua volta. Em 1979, a paleoantropóloga Mary Leakey encontrou pegadas nas cinzas — pegadas, acredita ela, de um antigo hominídeo, talvez

um ancestral de todos os povos da Terra atual. E a uma distância de 380 mil quilômetros, numa planície árida que seres humanos, num momento de otimismo, chamaram de mar da Tranquilidade, existe outra pegada, deixada pelo primeiro homem a caminhar num outro mundo. Chegamos longe, em 3,6 milhões de anos, em 4,6 bilhões e em 15 bilhões.

Pois somos a personificação local de um cosmos que chegou à consciência de si mesmo. Começamos a contemplar nossas origens: material estelar pensando nas estrelas; montagens organizadas de dezenas de bilhões de bilhões de bilhões de átomos considerando a evolução dos átomos; rastreando a longa jornada na qual, enfim aqui, a consciência despertou. Nossas lealdades são para com a espécie e o planeta. Somos *nós* que falamos pela Terra. Nossa obrigação de sobreviver é devida não só a nós mesmos, mas também a esse cosmos, antigo e vasto, do qual surgimos.

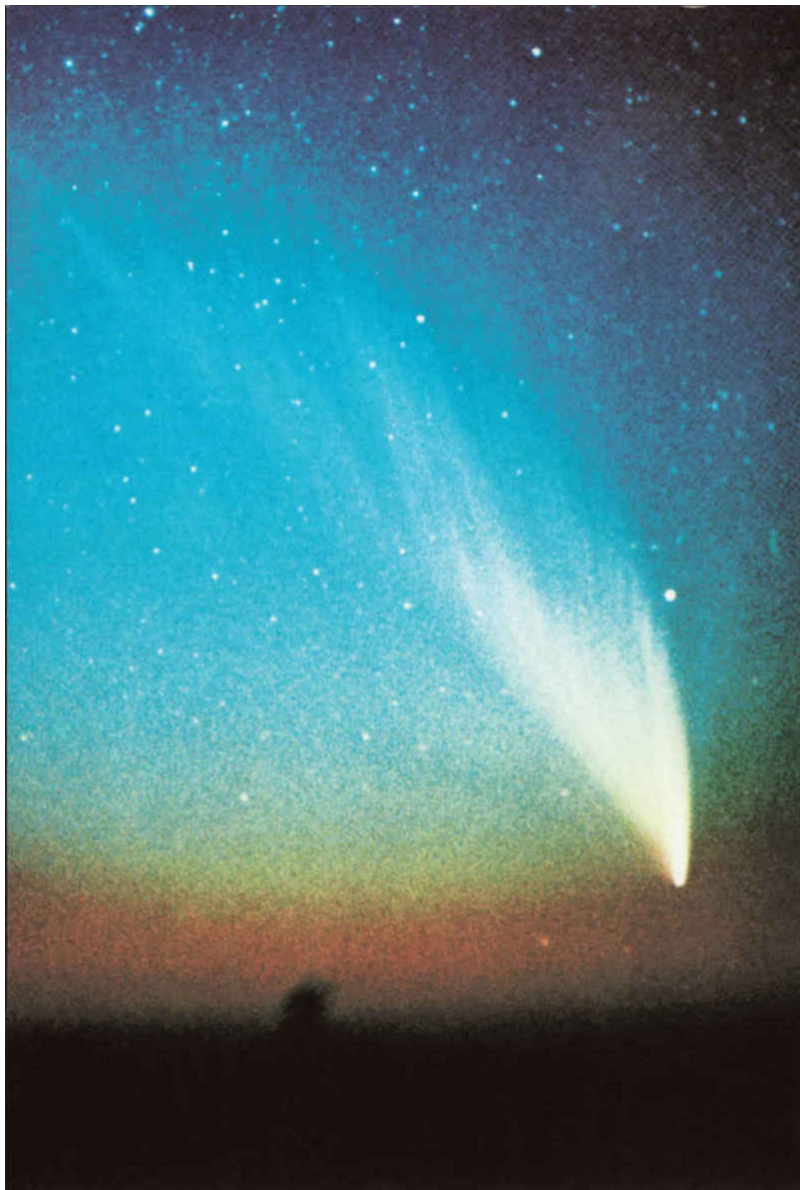
---

* Hoje não se acredita mais na extinção dos dinossauros ocorrida dessa maneira. (N. R. T.)

1. A Via Láctea vista de um ponto pouco acima do plano de seus braços em espiral, que são iluminados por bilhões de jovens e quentes estrelas azuis. O núcleo da galáxia, iluminado por estrelas vermelhas, mais antigas, é visto à distância.

2. Aglomerado globular de estrelas em órbita do núcleo galáctico.

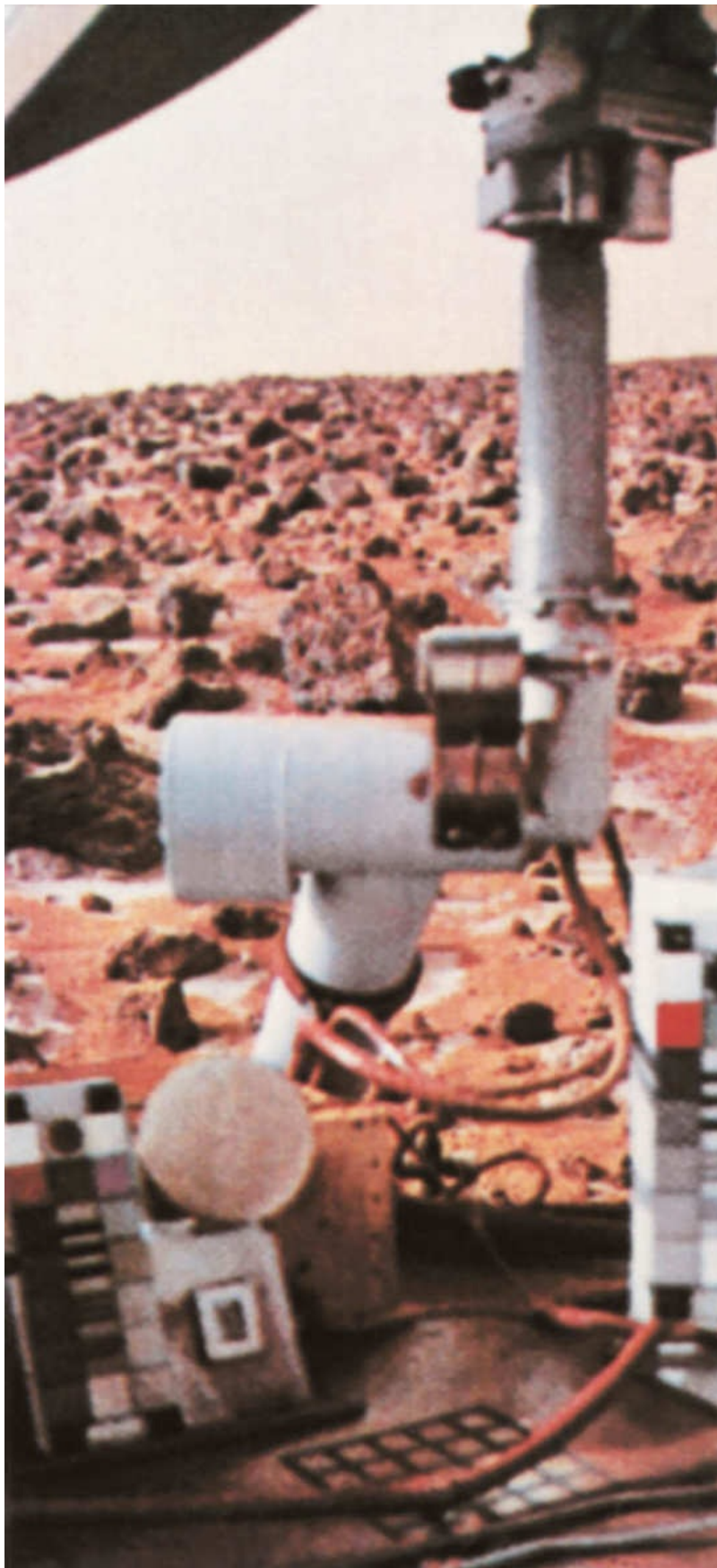
3. O Grande Salão da antiga Biblioteca de Alexandria, no Egito. Reconstrução com base em evidência erudita.

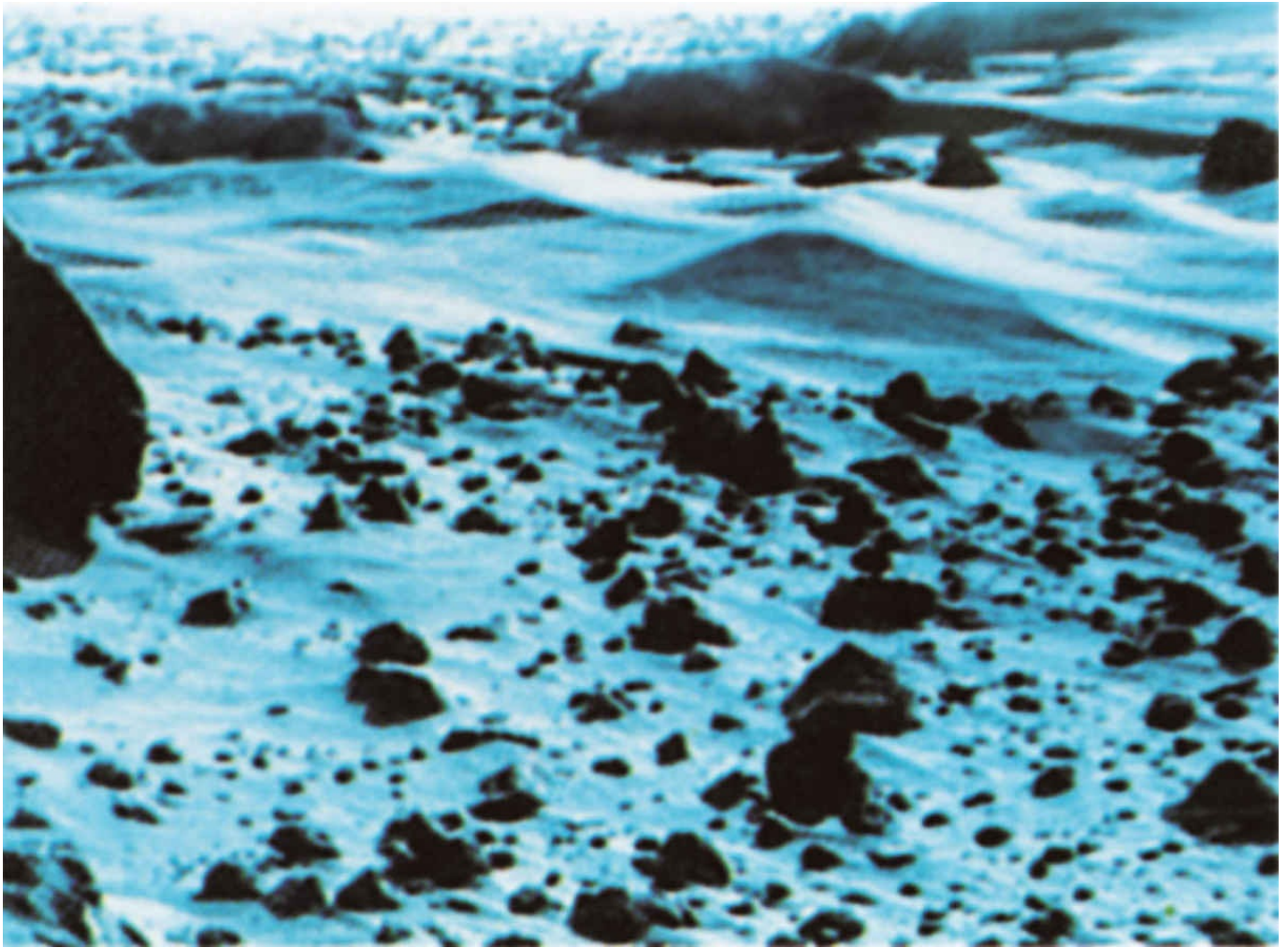
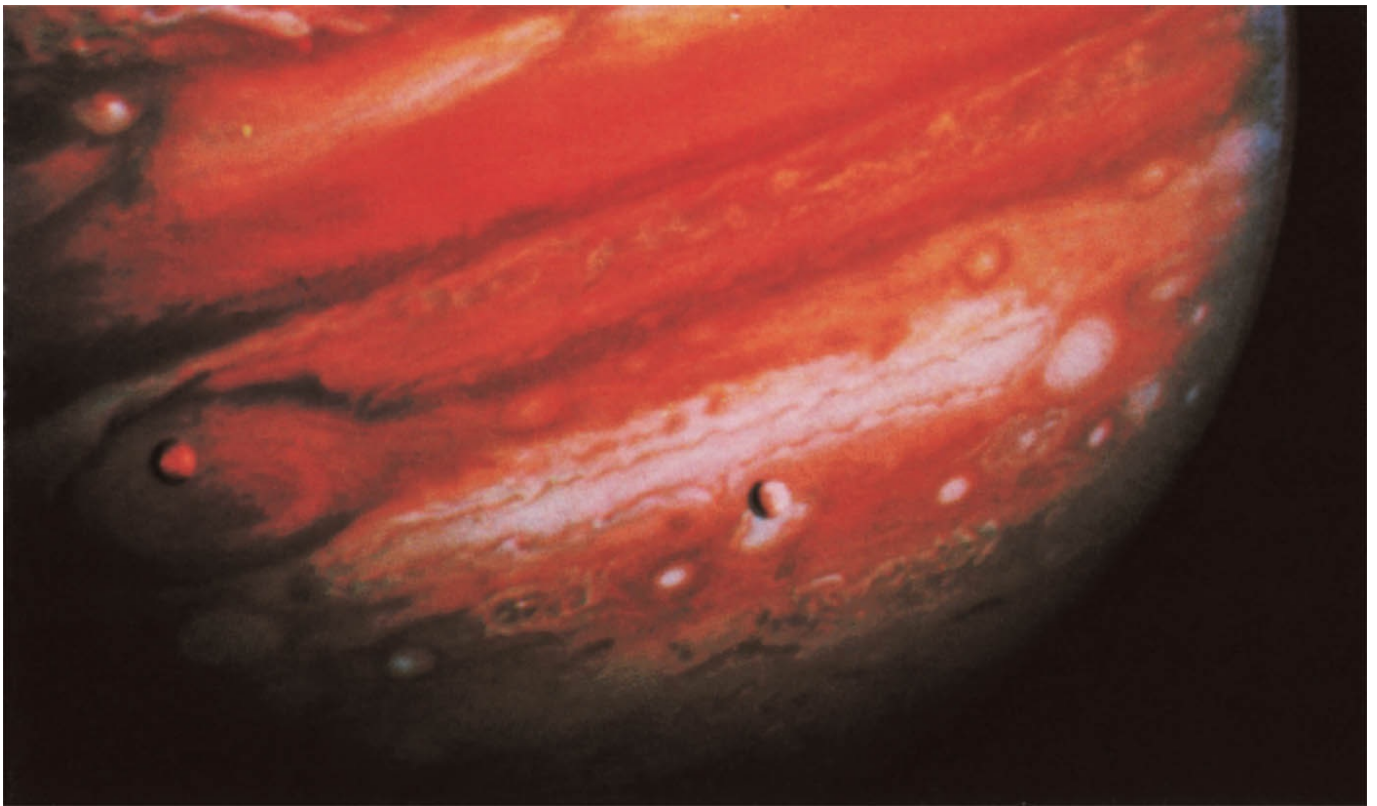
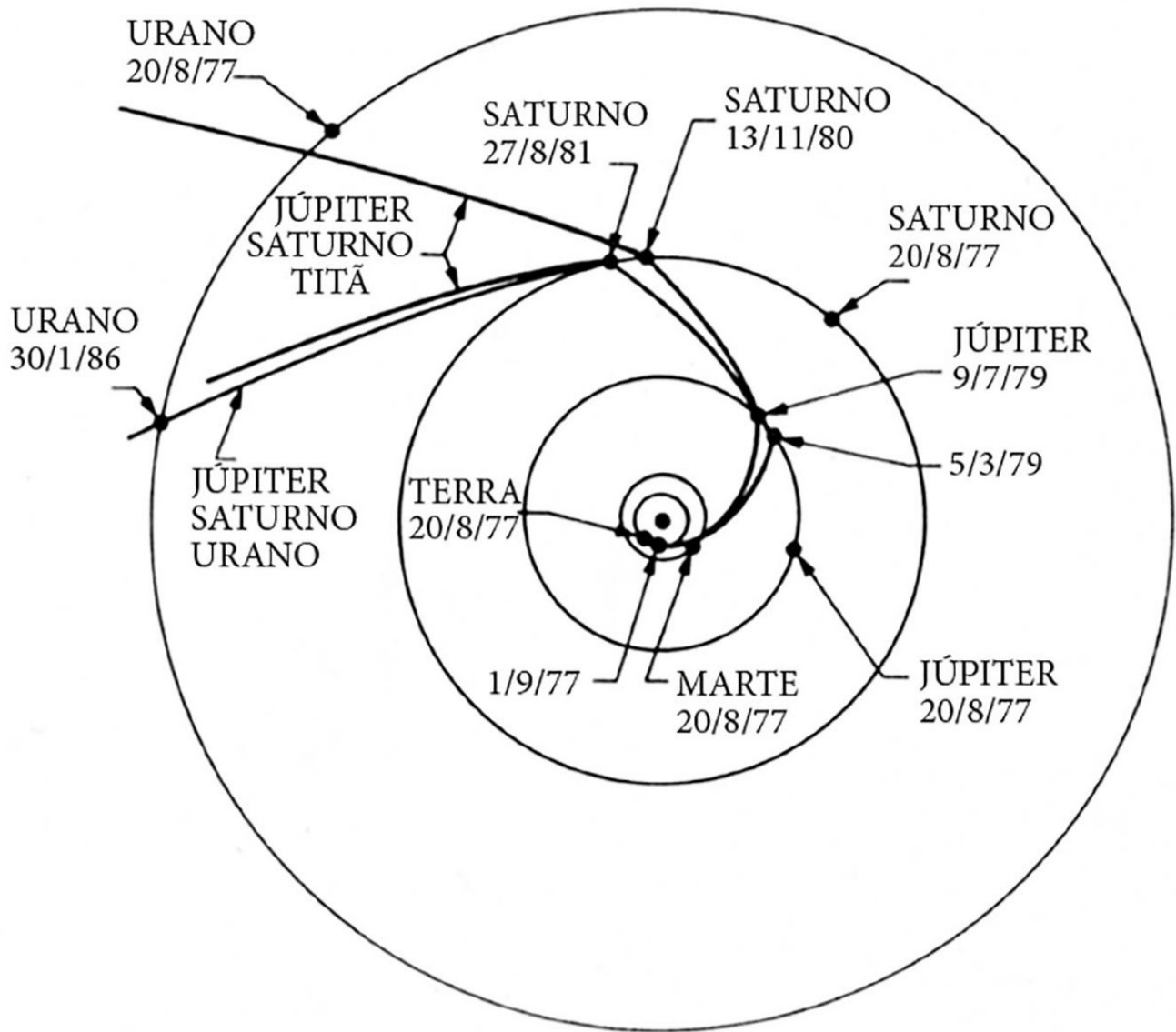
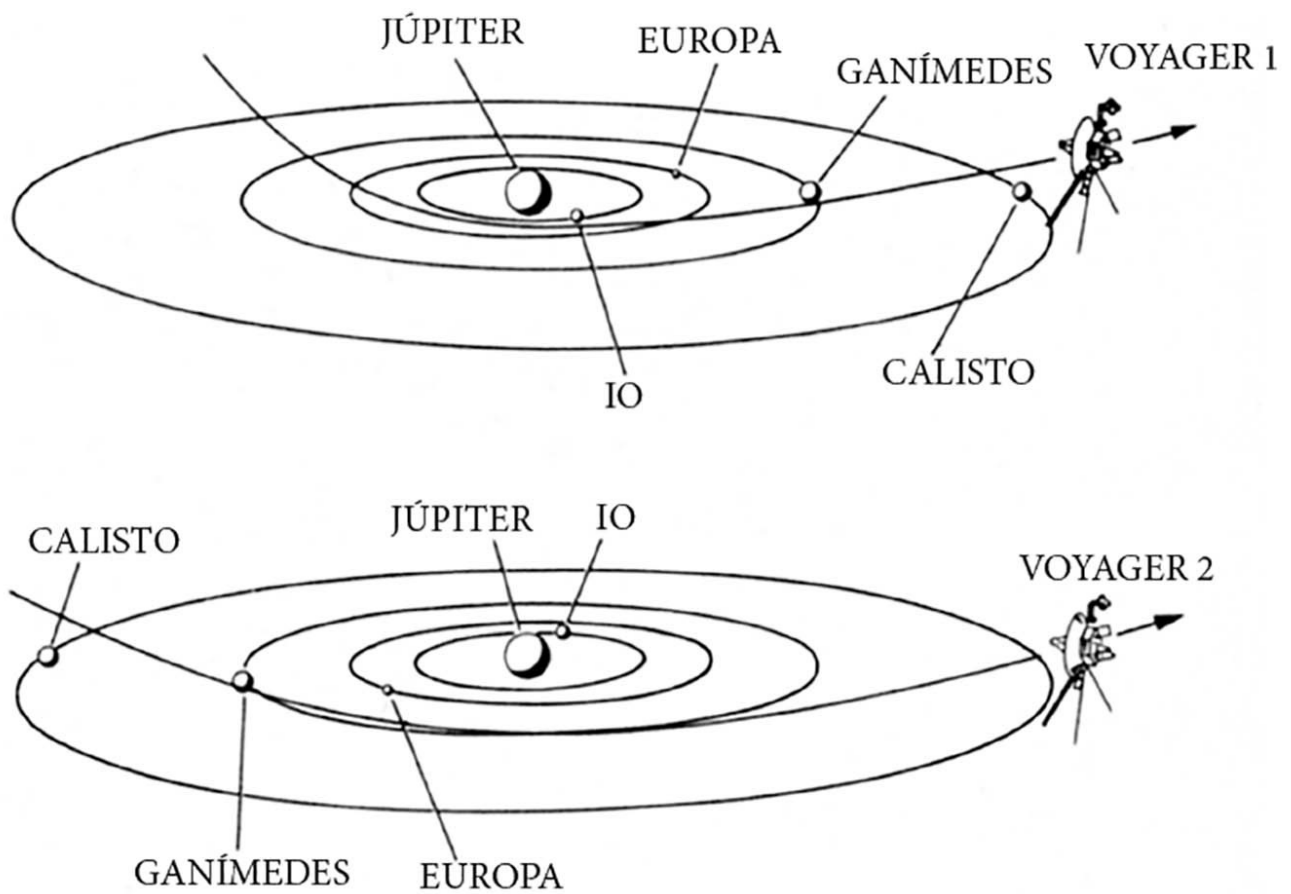
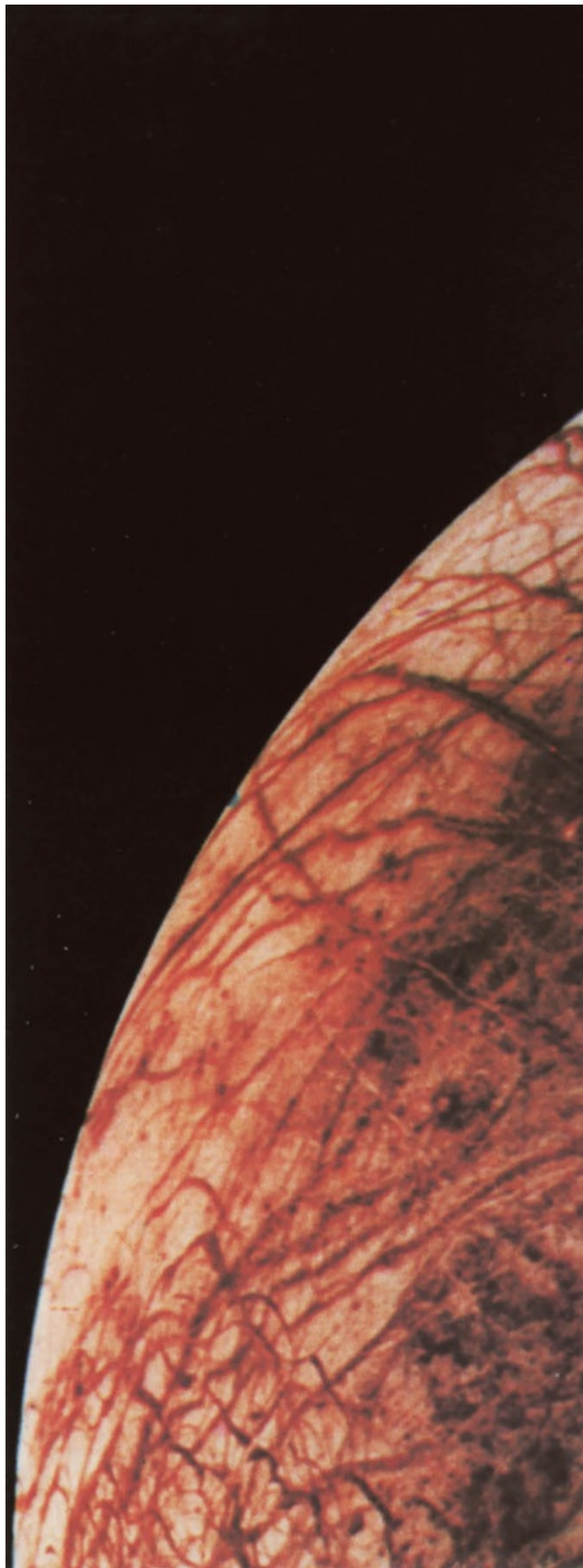
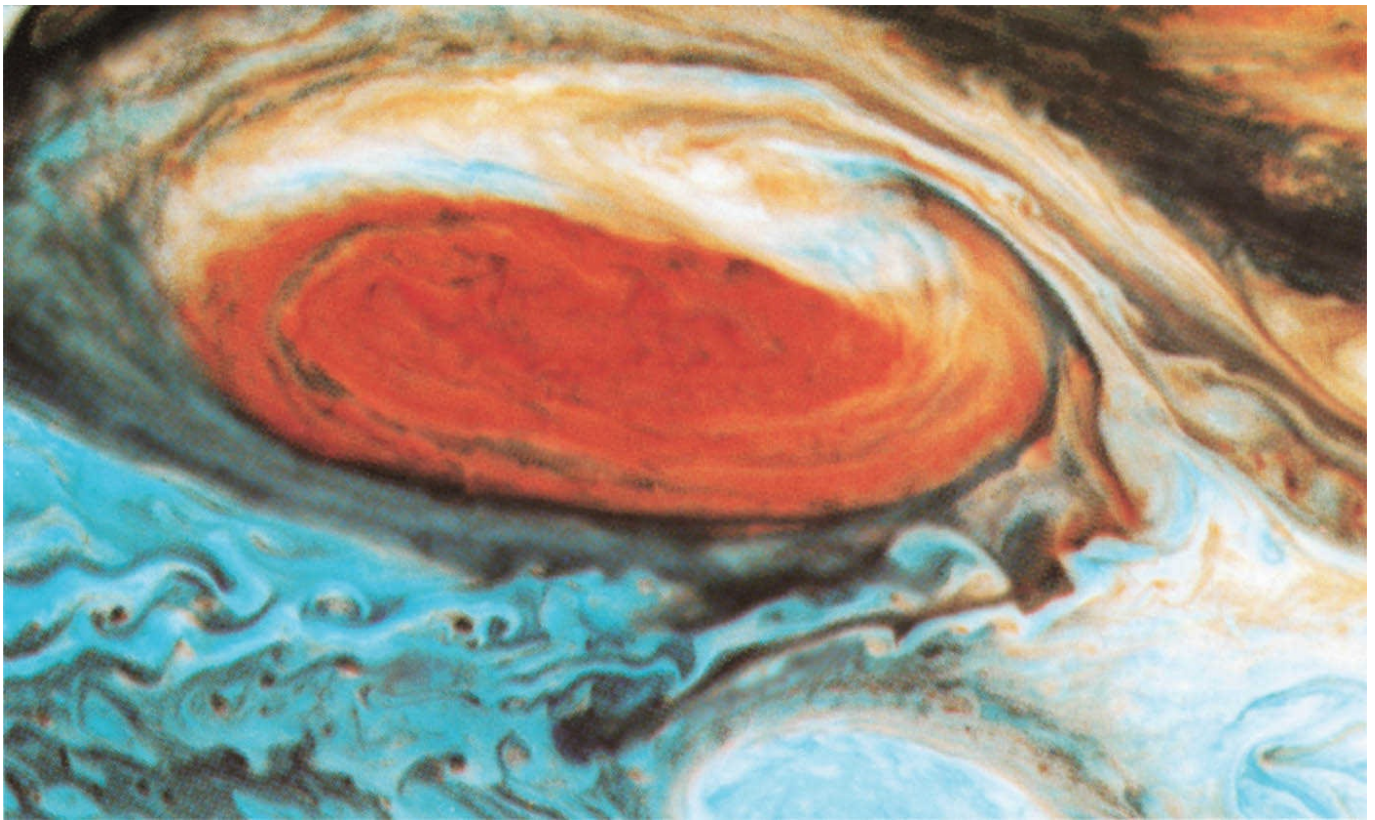
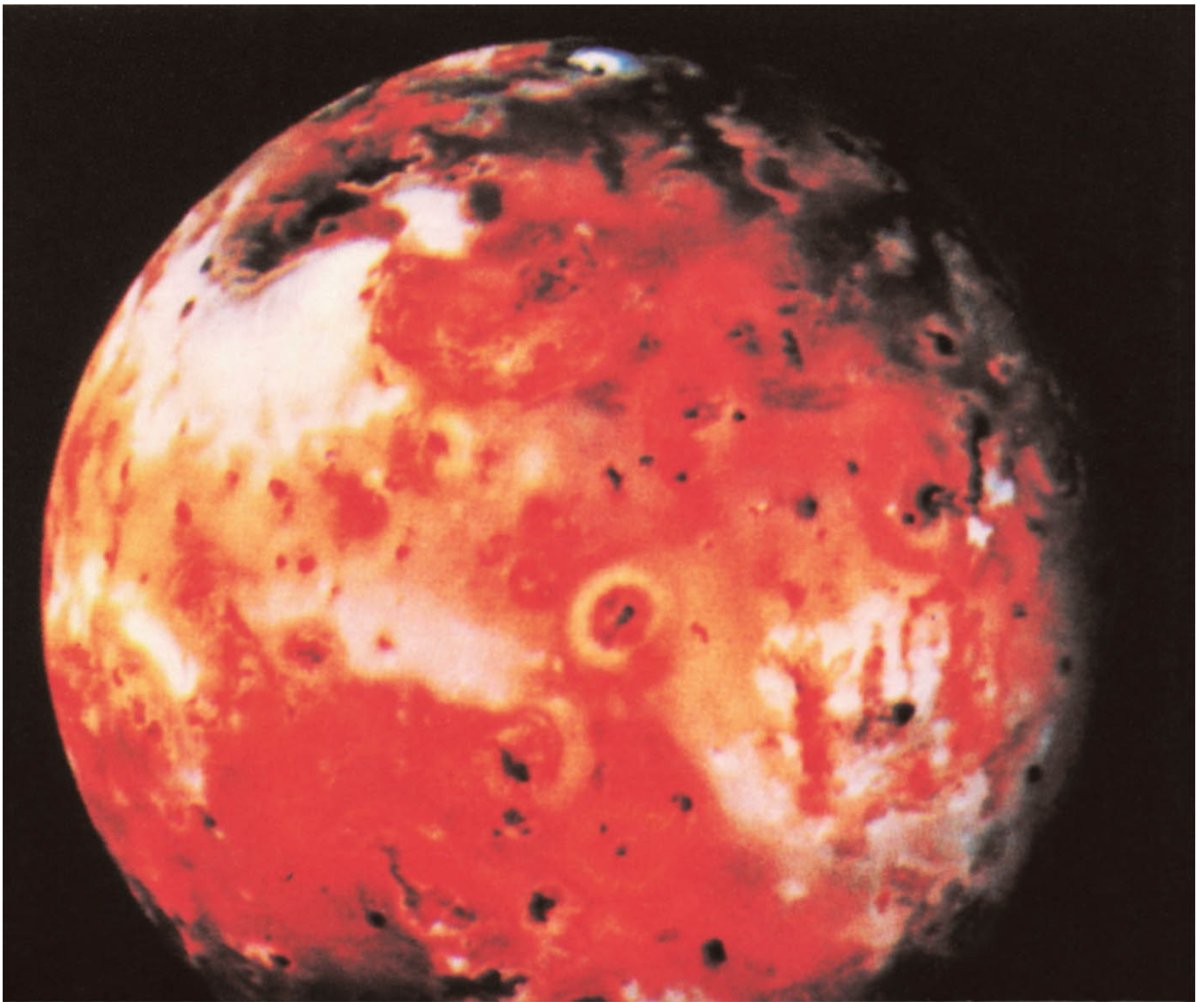
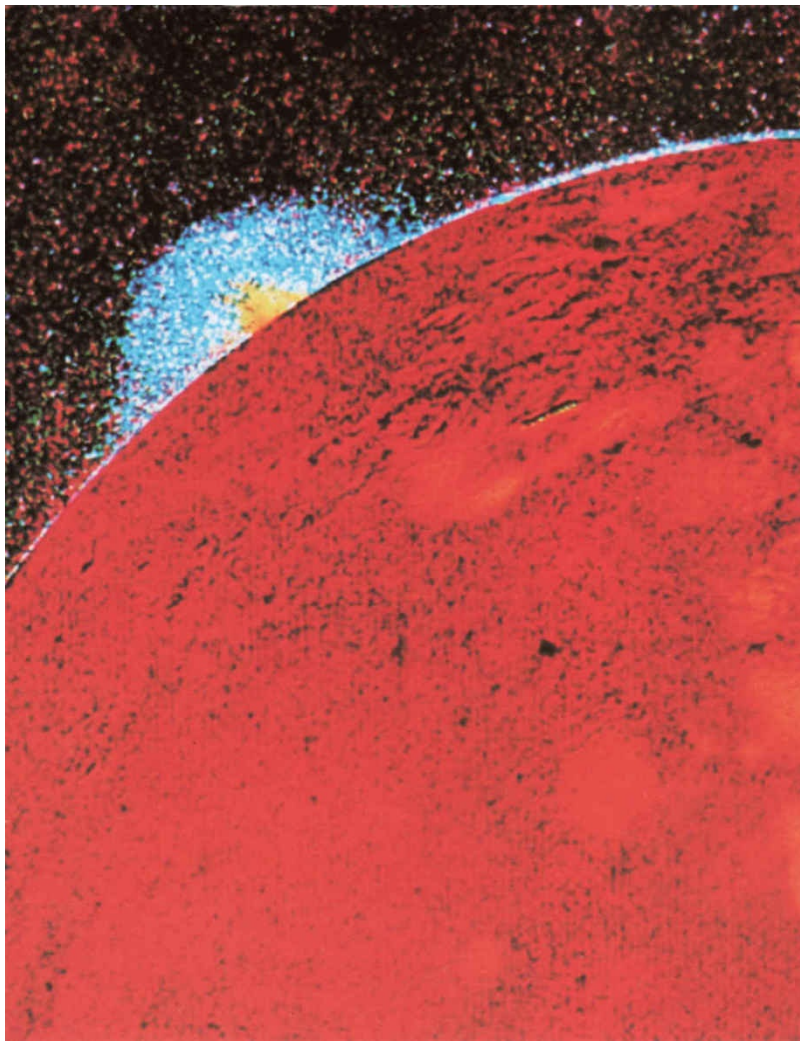
4. Caranguejo Heike, do mar Interior do Japão.

5. A Lua vista da Terra, assim que se sai da atmosfera.

6. A Terra vista da Lua: visão sonhada por Kepler.

7. O cometa West, fotografado da Terra em fevereiro de 1976 por Martin Grossman, de Gromau, República Federal da Alemanha. A grande cauda é soprada para longe do núcleo do cometa por um vento de prótons e elétrons vindo do Sol, que já se pôs abaixo do horizonte.

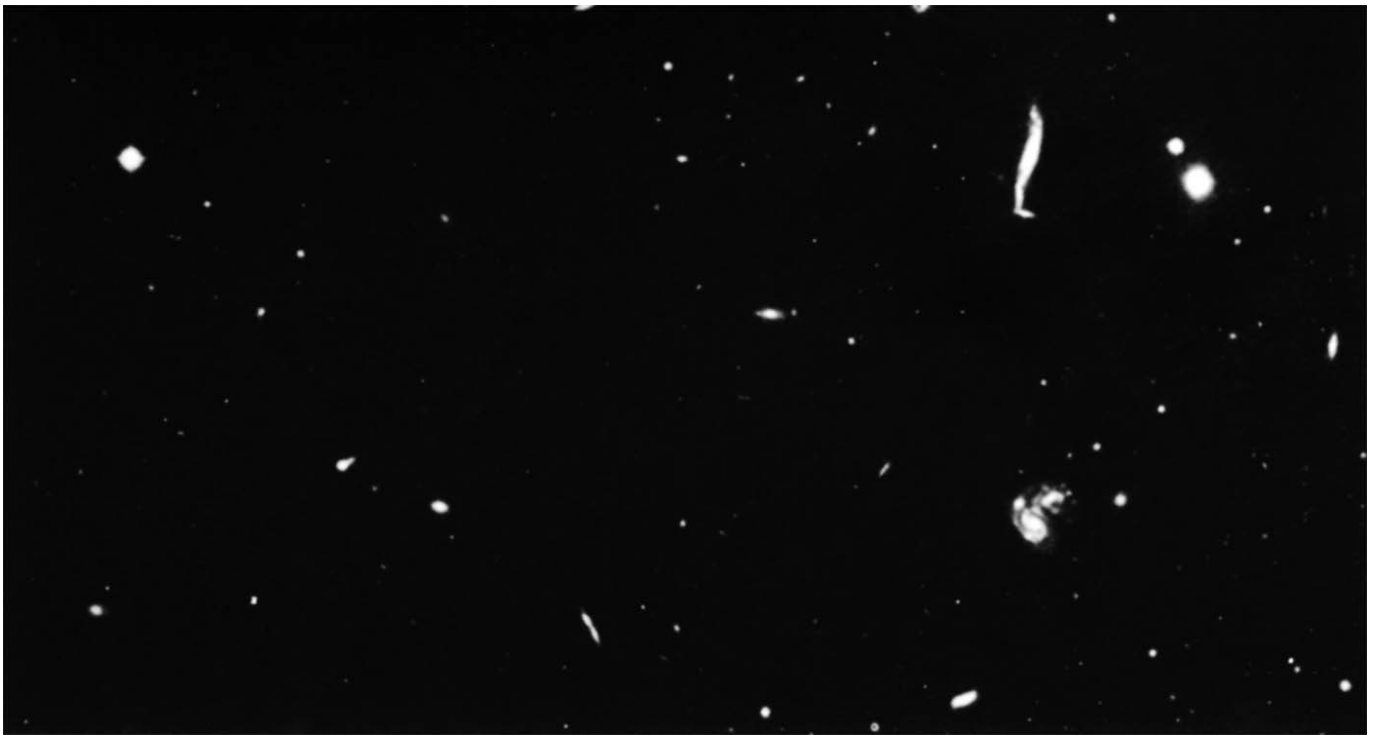
8. Cratera do Meteoro, Arizona. Essa cratera tem 1,2 quilômetro de diâmetro e foi produzida provavelmente entre 15 mil e 40 mil anos atrás, quando um bloco de ferro com 25 metros de largura impactou a Terra a uma velocidade de quinze quilômetros por segundo. A energia liberada foi equivalente à de uma explosão nuclear de quatro megatons.

9. Nascer da Terra sobre montanhas e uma complexa superposição de crateras na Lua. Foto do orbitador da *Apollo*.

10. Geada em Utopia. Uma fina camada de água congelada cobre o solo na latitude 44 graus norte, em Marte, em outubro de 1977, no início do inverno no hemisfério norte. A estrutura vertical suporta a antena de alto ganho para comunicação direta da *Viking* 2 com a Terra. Os quadrados coloridos e as faixas pretas servem para a calibração das câmeras. O quadrado preto com margem branca, embaixo à esquerda, é um microponto no qual estão inscritas — em tamanho minúsculo — as assinaturas de 10 mil seres humanos responsáveis pelo projeto, fabricação, testes, lançamento e operações da missão da espaçonave Viking. Os seres humanos estão se tornando, quase sem alarde, uma espécie multiplanetária.

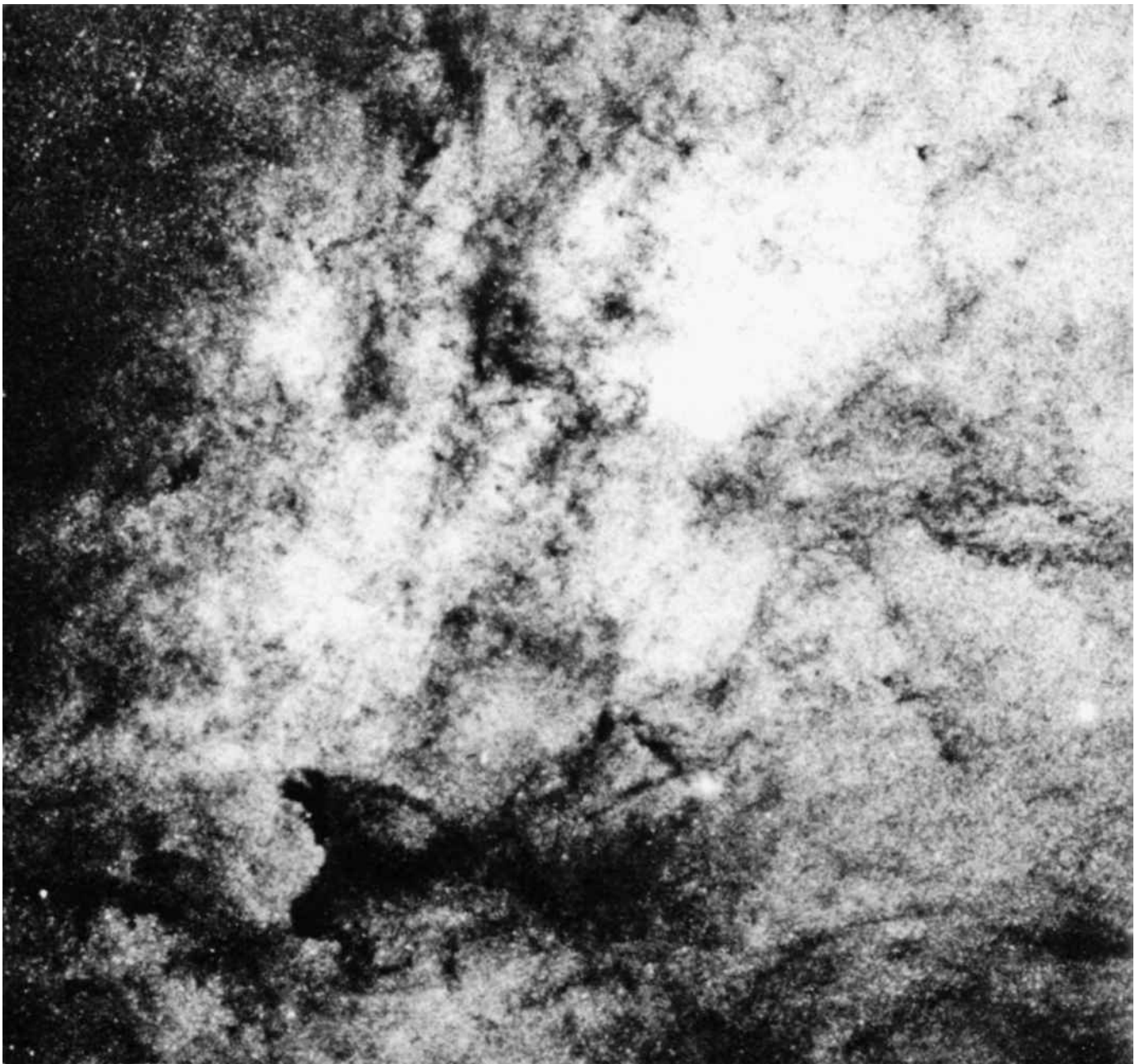
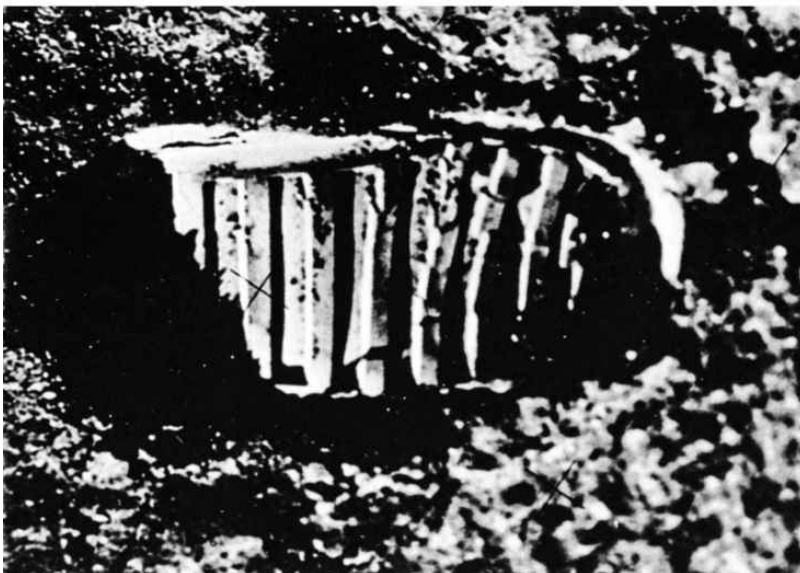
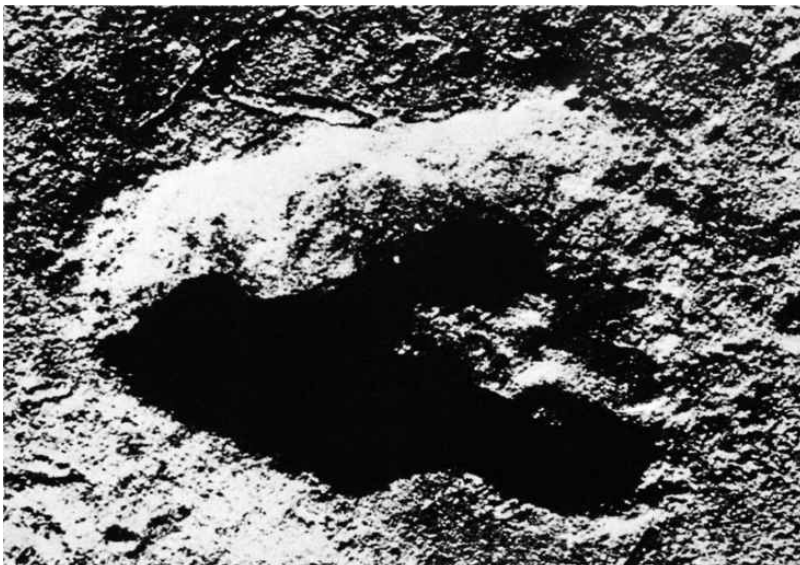
11. Parte de Kasei Vallis, um antigo vale fluvial em Marte. As crateras de impacto no fundo no assoalho do canal são evidência de sua antiguidade. Uma abundante superfície líquida na história primeva de Marte sugere que outrora as condições foram mais favoráveis à presença de vida.

12. Um retrato de outro mundo: rochas esparsas e dunas de areia que se movem com suavidade, no local de pouso da *Viking 1* em Chryse.

13. A *Voyager* aproxima-se de Júpiter, com as luas Io e Calisto em primeiro plano.

14. Cursos do voo da *Voyager 1* (cruzando a órbita de Urano, em cima à esquerda), e da *Voyager 2* (encontro com Urano em janeiro de 1986). Mostra também a trajetória alternativa na qual a *Voyager 2* se aproximaria muito de Titã, como fez a *Voyager 1*.

15. A passagem da *Voyager 1* (em cima) e da *Voyager 2* (embaixo) pelos satélites galileanos de Júpiter, em 5 de março e 9 de julho de 1979.

16. A lua joviana Europa, vista da *Voyager 2* durante sua grande aproximação em 9 de julho de 1979. Europa tem o tamanho aproximado de nossa Lua, mas sua topografia é bastante diferente. A falta de crateras e de montanhas é um forte indício de que uma espessa crosta de gelo com talvez cem quilômetros de profundidade envelopa o interior de silicato. O complexo-padrão formado por linhas escuras pode representar fraturas no gelo que foram preenchidas por material vindo de sob a crosta. O intenso brilho de Europa é consistente com essa hipótese.

17. A imagem apresenta uma cor falsa da Grande Mancha Vermelha, na qual o computador exagerou nos vermelhos e azuis em detrimento dos verdes. Nuvens altas encobrem cerca de um terço da mancha. Imagem da *Voyager 1*.

18. Imagem da superfície de Io vista da *Voyager 1*. Cada uma das formas escuras mais ou menos circulares é um vulcão que esteve ativo recentemente. O vulcão com um halo claro quase no centro do disco foi observado em plena erupção apenas quinze horas antes de se obter esta imagem. Desde então foi nomeado Prometeu. As cores preta, vermelha, laranja e amarela são tidas como representando enxofre congelado, originalmente expelido pelos vulcões numa temperatura de fusão, com as temperaturas mais elevadas nos depósitos na cor preta, e as mais baixas na cor amarela. Depósitos brancos, incluindo aqueles ao redor do Prometeu, podem ser dióxido de sulfato congelado. Io tem 3640 quilômetros de diâmetro.

19. A coluna de fumaça vulcânica do vulcão Loki Patera, em Io. A luz ultravioleta aparece aqui em azul. Em torno da fumaça, em luz visível, há uma vasta nuvem, iluminada pela luz ultravioleta solar refletida e composta de partículas muito pequenas. O efeito é similar à projeção azul da luz refletida por finas partículas de fumaça. O topo da nuvem ultravioleta está mais de duzentos quilômetros acima da superfície de Io e pode ejetar partículas extremamente pequenas direto no espaço. O material ejetado continuaria a estar em órbita em torno de Júpiter, como Io, e alimentaria o grande tubo de átomos que circunda o planeta à mesma distância de Io. Imagem da *Voyager 1*.

20. Hipotético planeta de gelo no sistema da nebulosa do Anel, em Lira. A estrela no centro expeliu sua atmosfera exterior, produzindo uma casca multicolorida e brilhante de gás em lenta expansão. O sistema está a uma distância de 1500 anos-luz e é objeto da exploração humana no futuro distante.

21. Uma forma de vida e sua estrela. Por um telescópio solar equipado com um filtro que só deixa passar a luz vermelha emitida por gás de hidrogênio quente, as manchas solares aparecem escuras. Em primeiro plano, numa montanha, um ser humano exultante.

22. A Galáxia do Redemoinho, M51 (51º objeto no catálogo de Charles Messier), também conhecida como NGC5194. Em 1845, William Parsons, terceiro conde de Rosse, descobriu a estrutura em espiral dessa nebulosa, primeira galáxia observada com essa estrutura. Distante 13 milhões de anos-luz, tem sido gravitacionalmente distorcida por sua pequena e irregular companheira galáctica, NGC5195 (embaixo).

23. Parte do Aglomerado Hércules de galáxias, com cerca de trezentos componentes conhecidos, que se retira de nossa região do cosmos a uma velocidade de 10 mil quilômetros por segundo. Nesta fotografia há mais galáxias (a mais de 300 milhões de anos-luz de distância) do que as estrelas em primeiro plano em nossa Via Láctea. Se o Aglomerado Hércules não está se desmembrando, deve haver lá cinco vezes mais massa do que vemos em suas galáxias, gravitacionalmente mantendo junto o aglomerado. Essa “massa faltante”, se comum no espaço intergaláctico, daria importante contribuição para manter o universo unido.

24. Um ser inteligente: baleia jubarte irrompe da superfície da água. Frederick Sound, Alasca, verão de 1979. As jubartes são famosas por seus notáveis saltos e sua extraordinária capacidade de comunicação. Uma jubarte pesa em média cinquenta toneladas e tem quinze metros de comprimento. Seu cérebro é muito maior do que o do homem.

25. Transliteração de um cartucho de Ptolomeu da pedra de Roseta e um de Cleópatra, do obelisco de Filas.

26. Grande nuvem estelar na constelação de Sagitário, olhando em direção ao centro da Via Láctea. As faixas escuras de poeira contêm moléculas orgânicas; algumas delas contêm estrelas nos estágios iniciais de formação. Nesta fotografia há cerca de 1 milhão de estrelas. Segundo as estimativas deste capítulo, uma delas é o sol de uma civilização mais avançada do que a nossa.

27 e 28. Duas pegadas humanas. Em cima, na Tanzânia, de 3,6 milhões de anos atrás. Embaixo, no mar da Tranquilidade, 1969.

29. O planeta lar de uma civilização tecnológica emergente, que luta para evitar a autodestruição. Esse mundo, visto de um posto de observação temporário em seu satélite solitário. A Terra percorre a cada dia 2,5 milhões de quilômetros em torno do Sol; oito vezes mais rápido do que este em torno do centro da Via Láctea e, talvez, duas vezes mais rápido do que a Via Láctea em seu movimento em direção ao aglomerado de galáxias de Virgem. Sempre fomos viajantes do espaço.

Agradecimentos

Além daqueles a quem agradeci na introdução, sou grato às muitas pessoas que generosamente contribuíram para este livro com seu tempo e seu profundo conhecimento, entre elas Carol Lane, Myrna Talman e Jenny Arden; David Oyster, Richard Wells, Tom Weidlinger, Dennis Gutierrez, Rob McCain, Nancy Kinney, Janelle Balnicke, Judy Flannery e Susan Racho, da equipe do programa *Cosmos* na televisão; Nancy Inglis, Peter Mollman, Marylea O'Reilly e Jennifer Peters, da Random House; Paul West, por ter generosamente me levado ao título do capítulo 5; e George Abell, James Allen, Barbara Amago, Lawrence Anderson, Jonathon Arons, Halton Arp, Asma El Bakri, Janes Blinn, Bart Bok, Zeddie Bowen, John C. Brandt, Kenneth Brecher, Frank Bristow, John Callendar, Donald B. Campbell, Judith Campbell, Elof Axel Carlson, Michael Carra, John Cassani, Judith Castagno, Catherine Cesarsky, Martin Cohen, Judy-Lynn del Rey, Nicholas Devereux, Michael Devirian, Stephen Dole, Frank D. Drake, Frederick C. Durant III, Richard Epstein, Von R. Eshleman, Ahmed Fahmy, Herbert Friedman, Robert Frosch, Jon Fukuda, Richard Gammon, Ricardo Giacconi, Thomas Gold, Paul Goldenberg, Peter Goldreich, Paul Goldsmith, J. Richard Gott III, Stephen Jay Gould, Bruce Hayes, Raymond Heacock, Wulff Heintz, Arthur Hoag, Paul Hodge, Dorrit Hoffleit, William Hoyt, Icko Iben, Mikhail Jaroszynski, Paul Jepsen, Tom Karp, Bishun N. Khare, Charles Kohlhase, Edwin Krupp, Arthur Lane, Paul McLean, Bruce Margon, Harold Masursky, Edmond Momjian, Linda Morabito, Edward Moreno, William Murnane, Bruce Murray, Thomas A. Mutch, Kenneth Norris, Tobias Owen, Linda Paul, Roger Payne, Vahe Petrosian, James B. Pollack, George Preston, Nancy Priest, Boris Ragent, Dianne Rennell, Michael Rowton, Allan Sandage, Fred Scarf, Arnold Scheibel, Maarten Schmidt, Eugene Shoemaker, Frank Shu, Nathan Sivin, Bradford Smith, Laurence A. Soderblom, Hyron Spinrad, Edward Stone, Jeremy Stone, Ed Taylor, Kip S. Thorne, Norman Thrower, O. Brian Toon, Barbara Tuchman, Roger Ulrich, Richard Underwood, Peter van de Kamp, Jurrie J. Van der Woude, Arthur Vaughn, Joseph Ververka, Helen Simpson Vishniac, Dorothy Vitaliano, Robert Wagoner, Pete Waller, Josephine Walsh, Kent Weeks, Donald Yeomans, Stephen Yerazunis, Louise Gray Young, Harold Zirin e a National Aeronautics and Space Administration. Também sou grato pela especial ajuda fotográfica de Edwardo Castañeda e Bill Ray.

Notas

1. AS MARGENS DO OCEANO CÓSMICO

1. Usam-se aqui as seguintes convenções quanto à terminologia: 1 bilhão = 1 000 000 000 = 109; 1 trilhão = 1 000 000 000 000 = 1012 etc. O expoente representa o número de zeros.

2. Assim chamadas porque são produzidas seccionando-se um cone em angulações diversas. Dezoito séculos depois, os escritos de Apolônio sobre as seções cônicas seriam aproveitados por Johannes Kepler para compreender, pela primeira vez, o movimento dos planetas.

2. UMA VOZ NA FUGA CÓSMICA

1. Apesar de o tradicional ponto de vista religioso ocidental afirmar com veemência o contrário, como, por exemplo, na opinião de John Wesley, em 1770: “A morte jamais tem permissão para destruir [nem mesmo] as espécies mais insignificantes”.

2. No *Popol Vuh*, livro sagrado dos maias, as várias formas de vida são descritas como tentativas fracassadas dos deuses, que tinham predileção por experimentos que visavam criar pessoas. As primeiras tentativas erraram em muito o alvo, criando os animais inferiores; a penúltima tentativa errou por pouco e criou os macacos. No mito chinês, os seres humanos surgiram dos piolhos do corpo de um deus chamado P’an Ku. No século XVIII, o naturalista francês De Buffon sugeriu que a Terra era muito mais antiga do que diziam as Escrituras, que as formas de vida mudavam de algum modo ao longo dos milênios, mas que os macacos eram desamparados descendentes de gente. Embora essas noções não reflitam com exatidão o processo evolucionário descrito por Darwin e Wallace, são uma antecipação dele — assim como o são as ideias de Demócrito, Empédocles e outros antigos cientistas jônicos discutidas no capítulo 7.

3. O código genético acaba sendo não exatamente idêntico em todas as partes de todos os organismos na Terra. Conhecem-se pelo menos alguns casos em que a transcrição da informação do DNA em informação proteínica numa mitocôndria emprega um livro de códigos diferente do que é usado pelos genes no núcleo da mesma célula. Isso indica uma longa separação evolucionária dos códigos genéticos das mitocôndrias e dos núcleos e é consistente com a ideia de que as mitocôndrias já foram uma vez organismos de vida independente, incorporados na célula num relacionamento simbiótico, bilhões de anos atrás. O desenvolvimento e a emergente sofisticação dessa simbiose é, aliás, uma resposta à questão de o que esteve fazendo a evolução entre a origem da célula e a proliferação de organismos multicelulares durante a explosão cambriana.

3. A HARMONIA DE MUNDOS

1. A raiz da palavra significa “Lua”.

2. O ceticismo quanto à astrologia e doutrinas correlatas não é novo nem exclusivo do Ocidente. Por exemplo, nos *Tsurezuregusa* (*Ensaios sobre a ociosidade*), escritos em 1332 pelo monge japonês Yoshida Kenkō, lemos: “Os ensinamentos do Yin-Yang [no Japão] nada têm a dizer sobre a questão dos Dias de Língua Vermelha. Antes as pessoas não evitavam esses dias, mas recentemente — eu me pergunto quem é o responsável por dar início a esse costume — começaram a dizer coisas como ‘Um empreendimento iniciado num Dia de Língua Vermelha nunca vai terminar’, ou ‘O que quer que você diga ou faça num Dia de Língua Vermelha está fadado a não dar em nada: você perderá o que já ganhou, seus planos serão desfeitos’. Que disparate! Se alguém contasse os projetos que começaram em ‘dias de sorte’ cuidadosamente escolhidos e que no fim não deram em nada, eles provavelmente seriam tantos quanto os empreendimentos infrutíferos iniciados nos dias de Língua Vermelha”.

3. Quatro séculos antes, um dispositivo como esse fora construído por Arquimedes e examinado e descrito por Cícero, em Roma, para onde tinha sido levado pelo general romano Marco Cláudio Marcelo, já que um de seus soldados tinha, gratuitamente, e contrariando suas ordens, matado o cientista septuagenário durante a conquista de Siracusa.

4. Num inventário recente de quase todos os exemplares do século XVI do livro de Copérnico, Owen Gingerich descobriu que a censura fora ineficaz: na Itália apenas 60% deles tinham sido “corrigidos” e na península Ibérica, nenhum.

5. Não é, sem dúvida, a observação mais extremada na Europa medieval ou da época da Reforma. Quando lhe perguntaram como distinguir um fiel de um infiel no cerco de uma grande cidade albigense, Domingos de Guzmán, depois conhecido como são Domingos,

teria replicado: “Mate-os todos. Deus saberá reconhecer os seus”.

6. A demonstração dessa declaração pode ser encontrada no apêndice 2.

7. Alguns exemplos disso ainda podem ser vistos na armaria de Graz.

8. Brahe, como Kepler, estava longe de ser hostil à astrologia, embora diferenciasse cuidadosamente sua própria e secreta versão dela das variantes mais comuns em sua época, que para ele levavam à superstição. Em seu livro *Astronomiae Instauratae Mechanica*, publicado em 1598, ele alega que a astrologia “é realmente mais confiável do que se possa pensar” se as cartas com as posições das estrelas fossem devidamente melhoradas. Brahe escreveu: “Eu me ocupei com a alquimia tanto quanto com os estudos celestes desde que tinha 23 anos”. Mas essas duas pseudociências, percebia ele, encerravam segredos perigosos demais para o populacho em geral (embora fossem totalmente seguras, pensava, nas mãos dos príncipes e reis dos quais obtinha suporte). Brahe continuou a longa e na verdade perigosa tradição de alguns cientistas que acreditavam que somente a eles e aos poderes temporais e eclesiásticos se podia confiar essa arcana sabedoria. “Não atende a propósitos úteis nem é razoável fazer com que essas coisas sejam de conhecimento geral.” Kepler, por outro lado, ensinava astronomia nas escolas, publicava muito e com frequência a suas próprias custas, e escrevia ficção científica, o que decerto não visava em primeiro lugar seus colegas cientistas. Ele pode não ter sido um escritor popular de divulgação científica, no sentido moderno, mas a mudança de atitude numa única geração que separava Tycho de Kepler é reveladora.

9. Lamentavelmente, Newton não reconheceu sua dívida para com Kepler em sua obra-prima *Principia*. Mas numa carta de 1686 a Edmund Halley, ele se refere assim a sua lei da gravitação: “Posso afirmar que a colhi do teorema de Kepler cerca de vinte anos atrás”.

4. CÉU E INFERNO

1. A noção de que meteoros e meteoritos têm relação com os cometas foi proposta pela primeira vez por Alexander von Humboldt em sua ampla obra de popularização de toda a ciência, publicada de 1845 a 1862, chamada *Kosmos*. Foi a leitura da obra primordial de Humboldt que fez o jovem Charles Darwin embarcar numa carreira na qual combinou exploração geográfica e história natural. Pouco depois ele aceitou um emprego como naturalista a bordo do navio H.M.S. *Beagle*, fato que levou à sua obra *A origem das espécies*.

2. A distância da Terra ao Sol é a “unidade astronômica”, ou seja, no caso, $r = 1$ (raio da órbita = 1 unidade astronômica), que equivale a 150 milhões de quilômetros. A órbita, quase circular, tem portanto uma circunferência de $2\pi r \simeq 10^9$ km. Nosso planeta circula nesse percurso uma vez a cada ano. Um ano = 3×10^7 segundos. Assim, a velocidade orbital da Terra é de 10^6 km/3×10^7 segundos $\simeq$ 30 km/s. Considere-se agora a camada esférica formada por cometas em órbita, que muitos astrônomos acreditam circundar o sistema solar a uma distância de cerca de 100 mil unidades astronômicas, quase metade da distância à estrela mais próxima. Da terceira lei de Kepler (p. 100) segue-se imediatamente que o período orbital em torno do Sol de qualquer um deles é de cerca de $(10^5)^{3/2} = 10^{7,5} \simeq 3 \times 10^7$, ou 30 milhões de anos. Dar uma volta em torno do Sol leva um tempo muito longo quando se está fora do âmbito do sistema solar. A órbita cometária é $2\pi a = 2\pi \times 10^5 \times 1,5 \times 10^8$ km $\approx 10^{14}$ quilômetros em torno do Sol, e sua velocidade é portanto de somente 10^{14} km/10^{15} s = 0,1 km/s $\simeq$ 360 quilômetros por hora.

3. Em Marte, onde a erosão é muito mais eficiente, embora haja muitas crateras não existe virtualmente nenhuma cratera com raios, como se poderia esperar.

4. Até onde sei, a primeira tentativa essencialmente não mística de explicar um evento histórico como uma intervenção cometária foi a sugestão de Edmund Halley de que o dilúvio de Noé foi causado pelo “choque casual de um cometa”.

5. O selo cilíndrico de Adda, que remonta a meados do terceiro milênio antes da era cristã, mostra com proeminência Inanna, a deusa de Vênus, a estrela matutina, e precursora da babilônia Ishtar.

6. Tem, aliás, cerca de 30 milhões de vezes mais massa que o cometa de maior massa conhecido.

7. A luz é um movimento ondulatório; sua frequência é o número de picos de onda que, digamos, entram num instrumento de detecção, como a retina, numa dada unidade de tempo, como um segundo. Quanto mais alta a frequência, mais energia tem a radiação.

8. A *Pioneer Venus* foi uma missão bem-sucedida dos Estados Unidos em 1978-9, que combinou um orbitador e quatro sondas de entrada na atmosfera, duas das quais sobreviveram brevemente às inclemências da superfície venusiana. Há muitos desenvolvimentos inesperados quando se juntam naves espaciais para explorar os planetas. Eis um deles: entre os instrumentos a bordo de uma das sondas de entrada da *Pioneer Venus* havia um radiômetro de fluxo de rede, destinado a medir ao mesmo tempo a quantidade de energia infravermelha que fluía para cima e para baixo em cada posição na atmosfera do planeta. O instrumento requeria uma janela resistente que fosse também transparente para a radiação infravermelha. Um diamante de 13,5 quilates foi importado e transformado na desejada janela. No entanto, cobrou-se do contratante 12 mil dólares de imposto de importação. Mais tarde, a alfândega americana decidiu que, após o diamante ter sido enviado a Vênus, ele ficara indisponível para ser negociado na Terra e devolveu o dinheiro ao fabricante.

9. Nessa paisagem asfixiante, não é provável que haja qualquer coisa viva, mesmo criaturas muito diferentes de nós. Moléculas orgânicas e outras moléculas biológicas concebíveis simplesmente se desintegrariam. Mas, com alguma indulgência, imaginemos que uma vez houve vida inteligente nesse planeta. Ela teria inventado a ciência? O desenvolvimento da ciência na Terra foi estimulado sobretudo pela observação das regularidades das estrelas e dos planetas. Mas Vênus é todo coberto de nuvens. A noite é agradavelmente longa — com duração de cerca de 59 dias terrestres —, mas nada do universo astronômico seria visível para quem olhasse o céu noturno venusiano. Até o Sol seria invisível durante o dia. Sua luz estaria espalhada e difusa em todo o céu — assim como um mergulhador que debaixo d’água só enxerga uma radiância uniforme. Se se construísse um radiotelescópio em Vênus, ele detectaria o Sol, a Terra e outros

objetos distantes. Se se desenvolvesse a astrofísica, a existência de estrelas poderia ser deduzida mais tarde a partir dos princípios da física, mas seriam apenas hipóteses teóricas. Às vezes me pergunto qual teria sido a reação de seres inteligentes em Vênus se um dia aprendessem a voar, a navegar no ar denso, penetrando no misterioso véu de nuvens 45 quilômetros acima deles, emergindo depois do topo das nuvens, olhando para cima e testemunhando pela primeira vez a existência do glorioso universo do Sol, dos planetas e das estrelas.

10. Hoje em dia ainda prevalece certa incerteza quanto à abundância do vapor d'água em Vênus. O cromatógrafo de gás na sonda de entrada *Pioneer Venus* mede a abundância da água na atmosfera inferior do planeta em alguns décimos por cento. Por outro lado, as medições de infravermelho pelos veículos de entrada soviéticos *Venera 11* e *Venera 12* dão uma abundância de um centésimo por cento. Se for considerado o primeiro valor, só o dióxido de carbono e o vapor d'água são suficientes para selar toda a radiação de calor da superfície e manter a temperatura do solo em cerca de 480 graus Celsius. Se se aplica o segundo número — e meu palpite é que essa é uma estimativa mais provável —, só o dióxido de carbono e o vapor d'água são adequados à manutenção da temperatura da superfície em apenas 380 graus Celsius, e seriam necessários outros componentes atmosféricos para fechar as janelas restantes à radiação infravermelha na estufa atmosférica. No entanto, as pequenas quantidades de SO_2, CO e HCl, que foram todas detectadas na atmosfera venusiana, parecem adequadas a esse propósito. Assim, as recentes missões americanas e soviéticas a Vênus parecem ter fornecido a verificação de que o efeito estufa é de fato a causa da alta temperatura da superfície.

11. Mais exatamente, uma cratera de impacto com dez quilômetros de diâmetro é criada na Terra a cada 500 mil anos; sobreviverá à erosão durante 300 milhões de anos em áreas geologicamente estáveis, como a Europa e a América do Norte. Crateras menores são produzidas com mais frequência e destruídas mais rápido, sobretudo em regiões geologicamente ativas.

12. Albedo é a fração de luz solar incidente num planeta que é refletida, voltando para o espaço. O albedo da Terra é de cerca de 30% a 35%. O restante da luz solar é absorvido pelo solo e é responsável pela temperatura média da superfície.

5. BLUES PARA UM PLANETA VERMELHO

1. Em 1938, uma versão radiofônica produzida por Orson Welles transpôs a invasão da Inglaterra para o leste dos Estados Unidos e apavorou milhões numa América temerosa da guerra, que acreditaram estar de fato sob ataque de marcianos.

2. Isaac Newton tinha escrito: "Se a teoria da fabricação de telescópios pudesse ser posta em prática em toda a sua abrangência, ainda haveria certos limites além dos quais os telescópios não conseguiriam ter bom desempenho. Pois o ar através do qual olhamos para as estrelas está em constante tremor [...]. O único remédio seria um ar mais sereno e tranquilo, como talvez se encontre nos cumes das montanhas mais altas, acima das nuvens".

3. Houve uma breve excitação quando uma letra B maiúscula, um suposto grafite marciano, pareceu visível num pequeno rochedo em Chryse. Mas uma análise posterior demonstrou ser um efeito de luz e sombra e do talento humano para reconhecer formas. Também seria algo notável que marcianos tivessem adotado independentemente o alfabeto latino. Porém houve um momento em que, ressoando em minha cabeça, veio o eco distante de uma palavra de minha infância — Barsoom.

4. A maior tem três quilômetros de largura na base e um quilômetro de altura — muito maior que as pirâmides da Suméria, do Egito ou do México. Parecem erodidas e antigas, e talvez sejam apenas pequenas montanhas, fustigadas pela areia durante eras. Mas justificam, penso eu, um olhar cuidadoso.

6. HISTÓRIAS DE VIAJANTES

1. Ou, para fazer uma comparação diferente, o tempo no qual um óvulo fertilizado leva para percorrer as trompas de Falópio e se implantar no útero é o mesmo que a *Apollo 11* levou para ir até a Lua; e o tempo que o óvulo levou para se desenvolver num infante completo foi o que a *Viking* levou para chegar a Marte. A duração normal de uma vida humana é maior do que o tempo que a *Voyager* levará até se aventurar além da órbita de Plutão.

2. Sabemos até quais foram os presentes que eles levaram à Corte. A imperatriz ganhou de presente "seis pequenas arcas com diversos quadros". E o imperador recebeu "dois pacotes de canela".

3. Em 1979, o papa João Paulo II propôs, cauteloso, que se revertesse a condenação de Galileu, feita 346 anos antes pela "Santa Inquisição".

4. A coragem de Galileu (e de Kepler) ao promover a hipótese heliocêntrica não se evidenciou nas ações de outros, mesmo os que residiam em partes da Europa menos fanaticamente doutrinárias. Por exemplo, numa carta datada de abril de 1634, René Descartes, então vivendo na Holanda, escrevia: "Sem dúvida você sabe que Galileu foi recentemente censurado pela Inquisidores da Fé, e que suas ideias sobre os movimentos da Terra foram condenadas como heréticas. Devo lhe dizer que todas as coisas que expliquei em meu tratado, que incluíam a doutrina sobre o movimento da Terra, eram tão interdependentes que bastaria descobrir que uma delas é falsa para saber que todos os argumentos que usei são inválidos. Embora eu ache que foram baseados em provas muito certas e evidentes, eu não gostaria, por nada neste mundo, de mantê-las em contradição com a autoridade da Igreja. Quero viver em paz e continuar com a vida que comecei sob o lema *para viver bem você tem de viver sem ser visto*".

5. Essa tradição exploradora pode explicar por que a Holanda, até hoje, produziu mais do que seria sua cota per capita de eminentes astrônomos, entre eles Gerard Peter Kuiper, que nas décadas de 1940 e 1950 foi o único astrofísico planetário em tempo integral no

mundo. Esse assunto era então considerado pela maioria dos astrônomos profissionais como, pelo menos, um tanto desacreditado, comprometido pelos excessos de Lowell. Sinto-me grato por ter sido aluno de Kuiper.

6. Isaac Newton admirava Christiaan Huygens e o considerava “o matemático mais elegante” de sua época e o mais verdadeiro seguidor da tradição dos antigos gregos — o que então, como agora, era um grande elogio. Newton acreditava, em parte porque sombras têm bordas bem definidas, que a luz se comportava como um fluxo de partículas minúsculas. Achava que a luz vermelha era composta pelas maiores partículas, e a violeta, pelas menores. Huygens alegava, em vez disso, que a luz se comportava como uma onda a se propagar no vácuo, como faz uma onda no mar — motivo pelo qual ele fala sobre comprimento de onda e frequência da luz. Muitas propriedades da luz, entre elas a difração, são explicadas naturalmente pela teoria ondulatória, e em anos subsequentes a ideia de Huygens saiu vencedora. Porém em 1905 Einstein mostrou que a teoria da luz como partícula poderia explicar o efeito fotelétrico, a ejeção de elétrons de um metal exposto a um raio de luz. A mecânica quântica moderna combina as duas ideias, e hoje é costume pensar que a luz se comporta em algumas circunstâncias como um feixe de partículas e em outras como uma onda. Esse dualismo onda-partícula pode não corresponder de imediato a nossas noções de bom senso, mas está de acordo com o que os experimentos têm demonstrado ser o que a luz realmente faz. Há algo misterioso e excitante nesse casamento de opostos, e é adequado que Newton e Huygens, ambos solteiros, tenham sido os pais de nosso moderno entendimento da natureza da luz.

7. Galileu descobriu os anéis, mas não tinha ideia do que fazer com isso. Vistos em seu primeiro telescópio astronômico, eles pareciam ser dois prolongamentos simetricamente ligados a Saturno, lembrando, disse ele com certa perplexidade, orelhas.

8. Alguns outros tinham opiniões semelhantes. Em seu *Harmonice Mundi*, Kepler assinalava: “A opinião de Tycho Brahe a respeito desses globos desérticos era que eles não existiam à toa, e sim que estavam cheios de habitantes”.

9. Tais histórias constituem uma antiga tradição humana; muitas delas tiveram, desde o início da exploração, um tema cósmico. Por exemplo, as explorações, no século XV, da Indonésia, Sri Lanka, Índia, Arábia e África pela dinastia Ming, da China, foram descritas por Fei Hsin, um de seus participantes, num livro ilustrado preparado para o imperador, *As visões triunfantes da jangada das estrelas*. Infelizmente as figuras — mas não o texto — se perderam.

10. Porque a velocidade da luz é finita (veja o capítulo 8).

11. A visão de Huygens, que descobriu Titã em 1655, era: “Pode agora alguém olhar para cima e comparar esses sistemas entre si [de Júpiter e de Saturno] sem ficar espantado com a grande magnitude e os nobres acompanhantes desses dois planetas em relação a esta nossa desprezível Terra? Ou podem se obrigar a pensar que o sábio Criador dispôs todos os seus animais e plantas aqui, equipou e adornou somente este lugar e deixou todos aqueles mundos nus e destituídos de habitantes, que poderiam adorá-Lo e cultuá-Lo; ou que todos esses prodigiosos corpos foram feitos apenas para cintilar e talvez ser estudados por uns poucos de nossos pobres camaradas?”. Como Saturno dá uma volta em torno do Sol a cada trinta anos, a duração das estações no planeta e em suas luas é muito maior que na Terra. Dos presumíveis habitantes das luas de Saturno, Huygens escreveu, então: “É impossível, mas seu modo de vida deve ser muito diferente do nosso, por terem invernos tão tediosos”.

7. A ESPINHA DORSAL DA NOITE

1. Essa percepção do fogo como uma coisa viva, a ser protegida e cuidada, não deveria ser menosprezada como uma noção “primitiva”. Ela encontra-se na raiz de muitas civilizações modernas. Toda casa na Grécia e na Roma antigas e entre os brâmanes da Índia antiga tinha uma lareira e um conjunto de regras prescritas para cuidar da chama. À noite o carvão era coberto com cinzas, como isolamento; pela manhã acrescentavam-se ramos para avivar a chama. A extinção dela na lareira era considerada sinônimo de morte na família. Nas três culturas o ritual da lareira estava ligado ao culto dos ancestrais. Essa é a origem da chama perpétua, símbolo ainda muito usado em cerimônias religiosas, comemorativas, políticas e esportivas em todo o mundo.

2. O ponto de exclamação corresponde a um estalo, tocando com a língua na parte interna dos incisivos e pronunciando ao mesmo tempo o k.

3. Para acrescentar um item à confusão, a Jônia não fica no mar Jônico; foi assim chamada por colonizadores das costas do mar Jônico.

4. Há alguma evidência de que os antecedentes mitos da criação sumérios tinham explicações amplamente naturalistas, mais tarde codificadas, em 1000 a.C., no *Enuma elish* (“Quando nas alturas”, palavras iniciais do poema); mas então os deuses tinham substituído a natureza e os mitos apresentam uma teogonia, não uma cosmogonia. O *Enuma elish* é reminiscente de mitos japoneses e ainos nos quais um cosmos originalmente lamacento é atingido pelas asas de um pássaro, o que separa a terra da água. Um mito de criação fijiano diz: “Rokomautu criou a terra. Ele a tirou com uma concha do fundo do oceano em grandes porções e a acumulou em pilhas aqui e ali. São as ilhas Fiji”. A destilação da terra a partir da água é uma noção bastante natural para povos insulares e de navegantes.

5. E à astrologia, que então era considerada por muitos uma ciência. Numa passagem típica, Hipócrates escreve: “Deve-se proteger também contra as ascensões das estrelas, em especial da estrela do Cão [Sirius], depois de Arcturus, e também da constelação das Plêiades”.

6. O experimento foi realizado para demonstrar uma teoria equivocada sobre a circulação do sangue, mas a ideia de realizar experimentos para demonstrar ocorrências da natureza é uma inovação importante.

7. As fronteiras do cálculo foram também invadidas mais tarde por Eudoxo e Arquimedes.

8. O século VI a.C. foi uma época de notável fermentação intelectual e espiritual no planeta. Não só foi a época de Tales, Anaximandro, Pitágoras e outros na Jônia, mas também a do faraó egípcio Neco, que ordenou a circum-navegação da África, de Zoroastro, na Pérsia, de

Confúcio e Lao Tsé, na China, dos profetas judeus em Israel, no Egito e na Babilônia, e de Guatama Buda, na Índia. É difícil pensar que todas essas atividades não estejam relacionadas.

9. Conquanto existam algumas poucas e bem-vindas exceções. O fascínio de Pitágoras com o fato de as harmonias musicais terem fatores expressos em números inteiros parece claramente ser baseado em observação, ou mesmo experimentos com sons obtidos tangendo-se cordas. Empédocles foi, ao menos em parte, pitagórico. Um dos alunos de Pitágoras, Alcmeão, é a primeira pessoa que se sabe ter dissecado um corpo humano; ele fez a distinção entre artérias e veias, foi o primeiro a descobrir o nervo óptico e as trompas de Eustáquio e identificou o cérebro como a sede do intelecto (o que foi mais tarde contestado por Aristóteles, para quem a inteligência estava no coração, e depois reafirmado por Herófilo). Também fundou a ciência da embriologia. Mas o gosto de Alcmeão pelo impuro não foi compartilhado pela maioria de seus colegas pitagóricos em épocas subsequentes.

10. Um pitagórico chamado Hipaso publicou o segredo da “esfera com doze pentágonos”, o dodecaedro. Consta que quando ele morreu num naufrágio, seu colega Pitágoras salientou a justiça dessa punição. Seu livro não sobreviveu.

11. Copérnico pode ter tido a ideia por ter lido sobre Aristarco. Textos clássicos então recém-descobertos foram causa de grande excitação nas universidades italianas quando Copérnico estava lá, estudando medicina. No manuscrito de seu livro, ele mencionou a prioridade de Aristarco, porém retirou a citação antes que fosse impresso. Copérnico escreveu numa carta ao papa Paulo III: “Segundo Cícero, Nicetas tinha pensado que a Terra se movia [...]. Segundo Plutarco [que discute Aristarco] [...] outros tinham a mesma opinião. Portanto, quando, a partir disso, concebi sua possibilidade, eu mesmo comecei a meditar sobre a mobilidade da Terra”.

12. Huygens na verdade usou uma conta de vidro para reduzir a intensidade da luz que passava pelo orifício.

13. Essa suposta posição privilegiada da Terra, no centro do que era então considerado o universo conhecido, levou A. R. Wallace a uma posição antiaristarquiana em seu livro *Man’s Place in the Universe* [O lugar do homem no universo] (1903), a de que o nosso planeta deve ser o único habitado.

9. A VIDA DAS ESTRELAS

1. Antes se pensava que os prótons estavam distribuídos de modo uniforme pela nuvem de elétrons, e não concentrados num núcleo de carga positiva no centro. O núcleo foi descoberto por Ernest Rutherford em Cambridge, quando algumas das partículas bombardeadas ricochetearam de volta na direção da qual tinham vindo. Rutherford comentou: “Foi o evento mais incrível que me aconteceu na vida. Foi quase tão incrível quanto disparar um obus [de canhão] de quinze polegadas num pedaço de papel e ele voltar e atingir você”.

2. O espírito desse cálculo é muito antigo. As frases com que Arquimedes abre *Ocalculador de areia* são: “Há alguns, rei Gelon, que pensam que o número de grãos de areia é infinito; e refiro-me não só à areia que existe em Siracusa e no resto da Sicília, mas também à que se encontra em todas as regiões, habitadas ou inabitadas. E, ainda, há alguns que, sem considerá-lo infinito, pensam que nenhum número que tenha um nome é grande o bastante para exceder sua multitude”. Arquimedes depois não apenas deu um nome ao número como o calculou. Mais tarde ele perguntou quantos grãos preencheriam, um junto ao outro, o universo que ele conhecia. Ele estimou 1063, que corresponde, em curiosa coincidência, aos 1083 átomos ou próximo disso.

3. A Terra é uma exceção, porque nosso hidrogênio primordial, debilmente ligado a nosso planeta devido a uma atração gravitacional mais ou menos fraca, já escapou em grande parte para o espaço. Júpiter, com sua gravidade bem mais forte, reteve pelo menos a maior parte de seu complemento original do mais leve dos elementos.

4. Estrelas com massa maior do que a do Sol atingem temperaturas e pressões de centro mais elevadas em seus estágios de evolução tardios. São capazes de ressurgir de suas cinzas mais de uma vez, usando carbono e oxigênio como combustível para sintetizar elementos ainda mais pesados.

5. Os astecas previram um tempo “em que a Terra ficará cansada [...] quando a semente da Terra chegará ao fim”. Nesse dia, eles acreditavam, o Sol cairá do céu e as estelas serão sacudidas do firmamento.

6. Observadores muçulmanos a notaram também. Mas não há uma palavra sobre ela nas crônicas da Europa.

7. Kepler publicou em 1606 um livro intitulado *De Stella Nova* (Sobre uma estrela nova), no qual se pergunta se uma supernova é o resultado de alguma concatenação de átomos no céu. Ele apresenta o que diz ser “não minha opinião, e sim a de minha mulher: ontem, cansado de escrever, fui chamado para jantar e me foi servida a salada que tinha pedido. ‘Parece então’, eu disse, ‘que se pratos de peltre, folhas de alface, grãos de sal, gotas de água, vinagre, azeite e fatias de ovo estivessem voando no ar por toda a eternidade, poderia por fim haver a chance de se tornarem uma salada.’ ‘Sim’, respondeu minha amada, ‘mas não tão boa quanto a minha salada’”.

8. 1g é a aceleração que atua em objetos em queda livre na Terra, e é de dez metros por segundo a cada segundo. Um pedaço de rocha que cai atingirá a velocidade de dez metros por segundo após um segundo de queda, vinte metros por segundo após dois segundos e assim por diante, até atingir o solo ou ter a velocidade diminuída devido ao atrito com o ar. Num mundo no qual a aceleração da gravidade fosse muito maior, corpos em queda acelerariam sua queda em medidas correspondentemente maiores. Num mundo com uma aceleração de 10 g, uma rocha percorreria em queda 10×10 m/s, ou quase cem metros por segundo após o primeiro segundo, duzentos metros por segundo após o segundo seguinte e assim por diante. Um leve tropeço poderia ser fatal. O símbolo da aceleração da gravidade deve ser escrito com letra minúscula, g, para distingui-lo da constante gravitacional newtoniana G, que mede a força da gravidade em toda parte do universo, não apenas no mundo ou no sol do qual se esteja falando, não importa qual seja. (A relação newtoniana entre as duas quantidades é $F = mg = GMm/r^2$; $g = GM/r^2$, em que F é a força gravitacional, M é a massa do planeta ou da

estrela, m é a massa do objeto em queda e r é a distância do objeto em queda ao centro do planeta ou da estrela.)

9. O antigo signo pictográfico dos sumérios para deus era um asterisco, símbolo das estrelas. A palavra asteca para deus era *Teotl*, e seu glifo era uma representação do Sol. Os céus eram chamados de Teoatl, o mar divino, o oceano cósmico.

10. NA BEIRA DA ETERNIDADE

1. Isso não é bem verdade. O lado mais próximo de uma galáxia está dezenas de milhares de anos-luz mais perto de nós do que o lado mais afastado. Assim, vemos a frente como ela era dezenas de milhares de anos antes do que a parte de trás. Mas eventos típicos na dinâmica galáctica ocorrem durante dezenas de milhões de anos; assim, o erro de se pensar que uma imagem da galáxia está congelada em um momento é pequeno.

2. O próprio objeto pode ser de qualquer cor, inclusive azul. O desvio para o vermelho significa apenas que cada linha do espectro aparece em comprimentos de onda maiores do que quando o objeto está em repouso; a medida do desvio para o vermelho é proporcional à velocidade e ao comprimento de onda da linha espectral quando o objeto está em repouso.

3. As datas nas inscrições dos maias também se estendem fundo no passado às vezes no futuro distante. Uma inscrição refere-se a uma época datada de mais de 1 milhão de anos atrás e outra, talvez, a eventos de 400 milhões de anos atrás, embora esta esteja sendo discutida por estudiosos dessa civilização. Os eventos memorizados podem ser míticos, mas as escalas de tempo são prodigiosas. Um milênio antes de os europeus quererem se despojar da ideia bíblica de que o mundo tinha alguns milhares de anos de idade, os maias estavam pensando em milhões, e os indianos em bilhões.

4. As leis da natureza não podem ser rearrumadas *aleatoriamente* nos pontos de inflexão. Se o universo já tiver passado por muitas oscilações, muitas possíveis leis de gravidade teriam ficado tão fracas que, para qualquer determinada expansão inicial, ele não se manteria unido. Uma vez tendo o universo tropeçado numa lei de gravidade assim, ele iria se separar e dispersar, e não teria oportunidade ulterior para experimentar outra oscilação, outro ponto de inflexão e outro conjunto de leis da natureza. Assim, podemos deduzir do fato de o universo existir ou uma idade finita ou uma rigorosa restrição ao tipo de leis da natureza permitido em cada oscilação. Se as leis da física não são aleatoriamente rearrumadas nos pontos de inflexão, deve haver uma regularidade, um conjunto de regras, que determine quais leis são permitidas e quais não. Esse conjunto de regras compreenderia uma nova física que controlaria a física atual. Nossa língua é pobre. Parece que não existe um nome adequado para essa nova física. Tanto "parafísica" quanto "metafísica" foram aplicados para outras atividades muito diferentes, e possivelmente de todo irrelevantes. Talvez "transfísica" resolvesse a questão.

5. Se existisse uma criatura de quatro dimensões, ela poderia, em nosso universo tridimensional, aparecer e se desmaterializar à vontade, mudando notavelmente de forma, nos lançar para fora de espaços fechados e nos fazer aparecer de lugar nenhum. Poderia também nos virar do avesso, de dentro para fora. Há muitas maneiras de sermos virados de dentro para fora: a menos agradável resultaria em termos nossas vísceras e órgãos internos do lado de fora, e o cosmos inteiro — o brilhante gás intergaláctico, galáxias, planetas, tudo — do lado de dentro. Não tenho certeza se gosto dessa ideia.

6. A ideia de que o universo parece ser, de modo geral, o mesmo, não importa de onde seja observado, foi proposta primeiro, até onde sabemos, por Giordano Bruno.

11. A PERSISTÊNCIA DA MEMÓRIA

1. Assim, todos os livros no mundo não contêm mais informação do que uma transmissão de vídeo em uma única cidade americana durante um único ano. Os bits não têm todos o mesmo valor.

2. Algumas árvores, chamadas sequoias, são maiores em tamanho e têm mais massa do que qualquer baleia.

3. Há um contraponto curioso a essa história. O canal preferido para comunicação interestelar com outras civilizações tecnológicas tem a frequência aproximada de 1,42 bilhão de hertz, marcada por uma linha de espectro de rádio do hidrogênio, o átomo mais abundante no universo. Estamos só começando a prestar atenção a sinais de origem inteligente. Mas essa banda de frequências está sendo cada vez mais invadida pelo tráfego de comunicações civis e militares na Terra, e não só pelas grandes potências. Estamos engarrafando o canal interestelar. O crescimento descontrolado da tecnologia de rádio na Terra pode impedir uma comunicação imediata com seres inteligentes em mundos distantes. Suas canções podem ficar sem resposta porque não demonstramos vontade de controlar nossa poluição de frequências de rádio para ficar escutando.

4. A aritmética com base no número cinco, ou no dez, parece tão óbvia que no grego antigo o equivalente a "contar" tinha o significado literal de "cincar", ou seja, usar o número cinco como base da contagem.

5. Uma análise recente sugere que 96% de todas as espécies no oceano podem ter morrido naquela ocasião. Com uma taxa tão enorme de extinção, os organismos atuais podem ter se desenvolvido de apenas uma amostra pequena e não representativa dos organismos que viviam no final do período mesozoico.

6. Em certo sentido, tal integração por rádio entre indivíduos separados já está começando a acontecer no planeta Terra.

12. *encyclopaedia galactica*

1. Fourier é atualmente famoso por seu estudo sobre a propagação do calor em sólidos, hoje empregado para compreender as

propriedades da superfície dos planetas, e por sua investigação de ondas e outros movimentos periódicos — ramo da matemática conhecido como análise de Fourier.

2. Quando La Pérouse estava montando a companhia de navegação na França, houve muitos jovens capazes e ansiosos por ir que se inscreveram, mas foram recusados. Um deles era um oficial de artilharia corso chamado Napoleão Bonaparte. Esse foi um interessante ponto de inflexão na história do mundo. Se La Pérouse tivesse aceitado Bonaparte, talvez a pedra de Roseta nunca fosse encontrada. Champollion poderia nunca ter decifrado os hieróglifos egípcios e em muitos outros aspectos nossa história recente poderia ter sido mudada de maneira significativa.

3. O relato de Cowee, o chefe tlingit, mostra que mesmo numa cultura pré-letrada um relato reconhecível como de um contato com uma civilização avançada pode ser preservado por gerações. Se a Terra tivesse sido visitada centenas de milhares de anos atrás por uma civilização extraterrestre avançada, mesmo se a cultura contatada fosse pré-letrada, seria de esperar que houvesse alguma forma reconhecível de preservação desse encontro. Mas não há um único caso no qual uma lenda confiável datada de tempos pré-tecnológicos possa ser entendida apenas em termos de um contato com uma civilização extraterrestre.

4. Pode haver muitas motivações para se ir às estrelas. Se nosso Sol ou outra estrela próxima estivesse perto de se tornar uma supernova, um programa importante de voo espacial interestelar poderia de repente tornar-se atraente. Se estivéssemos muito avançados, a descoberta de que o núcleo galáctico estava a ponto de explodir poderia até criar interesse em voos espaciais transgalácticos e intergalácticos. Essas violências cósmicas ocorrem com frequência bastante para que civilizações nômades exploradoras do espaço não sejam incomuns. Mesmo assim, sua chegada aqui na Terra continua a ser improvável.

5. Ou outros órgãos nacionais. Considere o seguinte pronunciamento do porta-voz do Departamento de Defesa britânico, como relatado no *Observer* de Londres de 26 de fevereiro de 1978: “Quaisquer mensagens transmitidas do espaço exterior são de responsabilidade da BBC e dos Correios. É responsabilidade deles rastrear transmissões ilegais”.

13. QUEM FALA EM NOME DA TERRA?

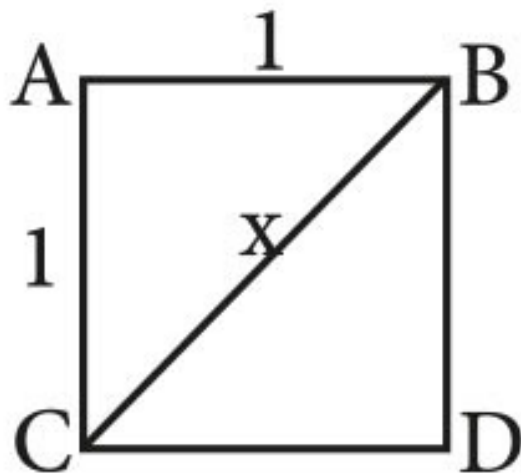
1. O processo é similar, mas muito mais perigoso, à destruição da camada de ozônio causada pelos fluorocarbonetos dos aerossóis, que foram banidos em comum acordo por muitas nações; e ao que se alega como explicação da extinção dos dinossauros pela explosão de uma supernova a algumas dezenas de anos-luz de distância.

2. A palavra *cosmopolita* foi inventada por Diógenes, filósofo racionalista e crítico de Platão.

3. Com a única exceção de Arquimedes, que durante sua estada na Biblioteca de Alexandria inventou o “parafuso de água”, chamado “parafuso de Arquimedes”, que é até hoje usado no Egito para irrigar campos cultivados. Mas mesmo ele considerava que esses artifícios mecânicos estavam muito abaixo da dignidade da ciência.

Apêndice 1
Reductio ad absurdum *e a raiz quadrada de dois*

O argumento original de Pitágoras quanto à irracionalidade da raiz quadrada de dois dependia de um tipo de argumento chamado *reductio ad absurdum*, uma redução ao absurdo: assumimos que uma declaração é verdadeira, acompanhamos suas consequências e chegamos a uma contradição, com isso estabelecendo que era falsa. Para dar um exemplo moderno, considere um aforismo do grande físico do século XX Niels Bohr: "O contrário de uma grande ideia é outra grande ideia". Se essa declaração for verdadeira, suas consequências podem ser, no mínimo, um pouco perigosas. Por exemplo, considere o contrário da Regra de Ouro, ou da proscrição de mentir, ou do mandamento "Não matarás". Consideremos então se o aforismo de Bohr não é, ele mesmo, uma grande ideia. Se for, então a declaração contrária, "O contrário de toda grande ideia não é uma grande ideia", deve ser verdadeira também. Chegamos aí a um *reductio ad absurdum*. Se a declaração contrária é falsa, podemos esquecer o aforismo, pois ele mesmo, confessadamente, não é uma grande ideia.

Apresentamos uma versão moderna da demonstração de irracionalidade da raiz quadrada de dois usando um *reductio ad absurdum* e simples álgebra, em vez da demonstração exclusivamente geométrica descoberta pelos pitagóricos. O estilo do argumento, a maneira de pensar, é no mínimo tão interessante quanto a conclusão.

Considere um quadrado no qual os lados têm o comprimento de uma unidade (seja um centímetro, uma polegada, um ano-luz, não importa). A diagonal BC divide o quadrado em dois triângulos, cada

um deles contendo um ângulo reto. Nesses triângulos retângulos, de acordo com o teorema de Pitágoras, $1^2 + 1^2 = x^2$. Mas $1^2 + 1^2 = 1 + 1 = 2$, assim $x^2 = 2$, e podemos escrever $x = \sqrt{2}$, ou seja, x = raiz quadrada de dois. Vamos *supor* que $\sqrt{2}$ seja um número racional: $\sqrt{2} = p/q$, em que p e q são números inteiros. Eles podem ser tão grandes quanto queiramos e podem representar qualquer número inteiro que desejemos. Sem dúvida podemos exigir que não tenham fatores comuns. Se quisermos afirmar que $\sqrt{2} = 14/10$, por exemplo, podemos, é claro, cancelar o fator 2 e escrever $p = 7$ e $q = 5$, e não $p = 14$ e $q = 10$. Antes de começar, pois, eliminemos qualquer fator comum ao numerador e ao denominador. Há um número infinito de p e de q que podemos escolher. De $\sqrt{2} = p/q$, elevando os dois termos da equação ao quadrado, temos que $2 = p^2/q^2$, ou, multiplicando os dois termos por q^2, temos $2q^2 = p^2$, ou, invertendo a ordem,

$$p^2 = 2q^2 \text{ (Equação 1)}$$

p^2 é, então, algum número multiplicado por 2. Portanto, p^2 é um número par. Mas o quadrado de qualquer número ímpar é ímpar ($1^2 = 1$, $3^2 = 9$, $5^2 = 25$, $7^2 = 49$ etc.). Assim, p deve ser par, e podemos escrever $p = 2s$, em que s é algum outro número inteiro. Substituindo na Equação 1, temos que

$$p^2 = (2s)^2 = 4s^2 = 2q^2$$

e dividindo os termos da última igualdade por 2, temos

$$q^2 = 2s^2$$

Ou seja, q^2 também é número par, e, segundo o mesmo argumento que acabamos de usar para p, segue-se que q também é par. Mas se q e p são ambos pares, ambos divisíveis por 2, deveriam ter sido reduzidos de seus fatores comuns, contradizendo com isso uma de nossas suposições. *Reductio ad absurdum*. Mas qual suposição? O argumento não pode nos dizer que a redução de fatores comuns é proibida, que 14/10 é permitido, porém 7/5 não. Assim, a suposição inicial deve estar errada; p e q não podem ser números inteiros; e $\sqrt{2}$ é irracional. De fato, $\sqrt{2} = 1{,}4142135\ldots$

Que conclusão espantosa e inesperada! Que demonstração elegante! Mas os pitagóricos sentiram-se compelidos a suprimir essa grande descoberta.

Apêndice 2
Os cinco sólidos pitagóricos

Um polígono (do grego "com muitos ângulos") regular é uma figura bidimensional com um número n de lados iguais. Se $n = 3$, será um triângulo equilátero, $n = 4$, um quadrado, $n = 5$, um pentágono, e assim por diante. Um poliedro (do grego "com muitas faces") é uma figura tridimensional, na qual todas as faces são polígonos: um cubo, por exemplo, cujas seis faces são quadrados. Um poliedro simples, ou sólido regular, é aquele no qual os polígonos que constituem suas faces "fecham" a figura, não deixando nenhum buraco ou brecha. Foi fundamental para o trabalho dos pitagóricos e de Johannes Kepler o fato de que há cinco e só pode haver cinco sólidos regulares. A demonstração mais fácil disso provém de uma relação descoberta muito mais tarde por Descartes e por Leonhard Euler, que relaciona o número de faces F, o número de arestas E e o número de cantos, ou vértices, V, de um sólido regular:

$$V - E + F = 2 \text{ (Equação 2)}$$

Assim, no caso de um cubo, há seis faces ($F = 6$) e oito vértices ($V = 8$), e como $8 - E + 6 = 2$, então $14 - E = 2$, e $E = 12$. A Equação 2 determina que o cubo tem doze arestas, e tem mesmo. Uma demonstração geométrica simples dela pode ser encontrada no livro de Courant e Robbins mencionado na bibliografia. Da Equação 2 podemos provar que só existem cinco sólidos regulares:

Cada aresta de um sólido regular é um lado comum de dois polígonos adjacentes. Pense de novo no cubo, no qual cada aresta é a linha que demarca a fronteira entre dois quadrados. Se contarmos todos os lados de todas as faces de um poliedro, $n F$, teremos contado cada aresta duas vezes. Assim,

$$n F = 2 E \text{ (Equação 3)}$$

Representemos com r o número de arestas que se encontram em cada vértice. Num cubo, $r = 3$. Ao mesmo tempo, cada aresta se conecta com dois vértices. Se contarmos todos os vértices, $r V$, estaremos obtendo o dobro do número de arestas. Assim,

$$r V = 2 E \text{ (Equação 4)}$$

Substituindo V e F da Equação 2 pelos valores obtidos nas Equações 3 e 4, teremos

$$2 E/r - E + 2 E/n = 2$$

Se dividirmos ambos os termos dessa equação por 2 E, teremos

$$1/n + 1/r = 1/2 + 1/E \text{ (Equação 5)}$$

Sabemos que $n = 3$ ou mais, já que o polígono mais simples é o triângulo, que tem três lados. Sabemos também que $r = 3$ ou mais, já que no mínimo três faces se encontram em um dado vértice de um poliedro. Se n e r forem ambos *simultaneamente* maiores que 3, o termo da esquerda de Equação 5 teria valor menor do que 2/3, e a equação não seria satisfeita para nenhum valor positivo atribuído a E. Assim, por outro *reductio ad absurdum*, ou $n = 3$ e r é 3 ou mais, ou $r = 3$ e n é 3 ou mais.

Se $n = 3$, a Equação 5 torna-se $(1/3) = (1/r) = (1/2) + (1/E)$, ou

$$1/r = 1/E + 1/6 \quad \text{(Equação 6)}$$

Assim, nesse caso r só pode ser igual a 3, 4 ou 5. (Se E fosse igual a 6 ou mais, a equação estaria desvirtuada.) Agora, $n = 3$, $r = 3$ designa um sólido no qual três triângulos se encontram num único vértice. Pela Equação 6, ele tem seis arestas; pela Equação 3, tem quatro faces; pela Equação 4, tem quatro vértices. Claramente, é a pirâmide, ou tetraedro; no caso de $n = 3$, $r = 4$, o sólido tem oito faces, dois conjuntos de quatro triângulos que se encontram num vértice comum, ou octaedro; e $n = 3$, $r = 5$ representa um sólido com vinte faces no qual cinco triângulos se encontram num vértice comum (veja figuras na p. 91).

Se $r = 3$, a Equação 5 torna-se

$$1/n = 1/E + 1/6$$

e, por argumentos semelhantes, n só pode ser igual a 3, 4 ou 5. $n = 3$ é, de novo, o tetraedro; $n = 4$ é um sólido cujas faces são seis quadrados, o cubo; e $n = 5$ corresponde a um sólido cujas faces são doze pentágonos, o dodecaedro.

Não existem outros valores inteiros possíveis para n e para r, portanto só existem cinco sólidos regulares, conclusão de uma matemática abstrata e bela, que teve, como vimos, o mais profundo impacto nas questões práticas humanas.

Leitura complementar

(*As obras de cunho científico mais técnico estão assinaladas com asterisco*)

1. AS MARGENS DO OCEANO CÓSMICO

BOEKE, Kees. *Cosmic View: The Universe in Forty Jumps.* Nova York: John Day, 1957.
FRASER, Peter Marshall. *Ptolemaic Alexandria.* Oxford: Clarendon Press, 1972. 3 v.
MORISON, Samuel Eliot. *Admiral of the Ocean Sea: A Life of Christopher Columbus.* Boston: Little, Brown, 1942.
SAGAN, Carl. *Broca's Brain: Reflections on the Romance of Science.* Nova York: Random House, 1979.

2. UMA VOZ NA FUGA CÓSMICA

ATTENBOROUGH, David. *A vida na Terra.* São Paulo: Martins Fontes, 1980.
*DOBZHANSKY, Theodosius; AYALA, Francisco J.; STEBBINS, G. Ledyard; VALENTINE, James. *Evolution.* San Francisco: W. H. Freeman, 1978.
EVOLUTION (*A Scientific American Book*). San Francisco: W. H. Freeman, 1978.
GOULD, Stephen Jay. *Darwin e os grandes enigmas da vida.* São Paulo: Martins Fontes, 1999.
HANDLER, Philip (Org.). *Biology and the Future of Man.* Committee on Science and Public Policy, National Academy of Sciences. Nova York: Oxford University Press, 1970.
HUXLEY, Julian. *New Bottles for New Wine: Essays.* Londres: Chatto and Windus, 1957.
KENNEDY, Donald (Org.). *Cellular and Organismal Biology: Readings fromScientific American.* San Francisco: W. H. Freeman, 1974.
*KORNBERG, Arthur. *DNA Replication.* San Francisco: W. H. Freeman, 1980.
*MILLER, Stanley L.; ORGEL, Leslie. *The Origins of Life on Earth.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1974.
ORGEL, Leslie. *Origins of Life.* Nova York: Wiley, 1973.
*ROEMER, Alfred Sherwood. "Major Steps in Vertebrate Evolution". *Science*, v. 158, p. 1629, 1967.
*ROLAND, Jean Claude. *Atlas or Cell Biology.* Boston: Little, Brown, 1977.
SAGAN, Carl. "Life". *Encyclopaedia Britannica*, 1970 e edições posteriores.
*SAGAN, Carl; SALPETER, Edwin Ernest. "Particles, Environments and Hypothetical Ecologies in the Jovian Atmosphere". *Astrophysical Journal Supplement*, v. 32, p. 737, 1976.
SIMPSON, George Gaylord. *The Meaning of Evolution.* New Haven: Yale University Press, 1960.
THOMAS, Lewis. *Lives of a Cell: Notes of a Biology Watcher.* Nova York: Bantam Books, 1974.
*WATSON, James D.; BAKER, Tania A.; BELL, Stephen P.; GANN, Alexander; LEVINE, Michael; LOSICK, Richard. *Biologia molecular do gene.* 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2015.
WILSON, Edward Osborne et al. *Life on Earth.* Stamford: Sinauer Associates, 1973.

3. A HARMONIA DE MUNDOS

ABELL, George; SINGER, Barry. (Orgs.). *Science and the Paranormal.* Nova York: Scribner's, 1980.
*BEER, Arthur (Org.). *Vistas in Astronomy.* Londres: Pergamon, 1975. v. 18: Kepler.
CASPAR, Max. *Kepler.* Londres: Abelard-Schuman, 1959.
CUMONT, Franz. *Astrology and Religion among the Greeks and Romans.* Nova York: Dover, 1960.
KOESTLER, Arthur. *Os sonâmbulos.* São Paulo: Ibrasa, 1961.
KRUPP, Edwin C. (Org.). *In Search of Ancient Astronomies.* Nova York: Doubleday, 1978.
PANNEKOEK, Anton. *A History of Astronomy.* Londres: George Allen, 1961.
REY, Hans Augusto. *The Stars: A New Way to See Them.* 3. ed. Boston: Houghton Mifflin, 1970.
ROSEN, Edward. *Kepler's Somnium.* Madison, WI: University of Wisconsin Press, 1967.
STANDEN, Anthony. *Forget Your Sun Sign.* Baton Rouge: Legacy, 1977.
VIVIAN, Gordon; RAITER, Paul. *The Great Kivas of Chaco Canyon.* Albuquerque: University of New Mexico Press, 1965.

4. CÉU E INFERNO

CHAPMAN, Clark. *The Inner Planets*. Nova York: Scribner's, 1977.
CHARNEY, Jule Gregory (Org.). *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. Washington, DC: National Academy of Sciences, 1979.
CROSS, Charles A.; MOORE, Patrick. *The Atlas of Mercury*. Nova York: Crown, 1977.
*DELSEMME, Armand H. (Org.). *Comets, Asteroids, Meteorites*. Toledo, OH: University of Ohio Press, 1977.
*DUNNE, James A.; BURGESS, Eric. *The Voyage of Mariner 10*. Nasa SP-424. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1978.
EHRLICH, Paul R.; EHRLICH, Anne H.; HOLDEN, John P. *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. San Francisco: W. H. Freeman, 1977.
*EL-BAZ, Farouk. "The Moon After *Apollo*". *Icarus*, v. 25, p. 495, 1975.
GOLDSMITH, Donald (Org.). *Scientists Confront Velikovsky*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1977.
KAUFMANN, William J. *Planets and Moons*. San Francisco: W. H. Freeman, 1979.
*KELDYSH, Mstislav V. "Venus Exploration with the *Venera 9* and *Venera 10* Spacecraft". *Icarus*, v. 30, p. 605, 1977.
*KRESÁK, L'ubor. "The Tunguska Object: A Fragment of Comet Encke?". *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, v. 29, p. 129, 1978.
KRINOV, E. L. *Giant Meteorites*. Nova York: Pergamon, 1966.
LOVELOCK, James. *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford: Oxford University Press, 1979.
*MAROV, Mikhail Ya. "Venus: A Perspective at the Beginning of Planetary Exploration". *Icarus*, v. 16, p. 115, 1972.
MASURSKY, Harold; COLTON, George Willis; EL-BAZ, Farouk (Orgs.). *Apollo Over the Moon: A View from Orbit*. Nasa SP-362. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1978.
*MULHOLLAND, John-Derral; CALAME, Odile. "Lunar Crater Giordano Bruno: AD 1178 Impact Observations Consistent with Laser Ranging Results". *Science*, v. 199, p. 875, 1978.
*MURRAY, Bruce; BURGESS, Eric. *Flight to Mercury*. Nova York: Columbia University Press, 1977.
*MURRAY, Bruce; GREELEY, Ronald; MALIN, Michael. *Earthlike Planets*. San Francisco: W. H. Freeman, 1980.
NICKS, Oran W. (Org.). *This Island Earth*. Nasa SP-250. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1970.
OBERG, James. "Tunguska: Colision with a Comet". *Astronomy*, v. 5, n. 12, p. 18, dez. 1977.
*"*Pioneer Venus* Results". *Science*, v. 203, n. 4382, p. 743, 23 fev. 1979.
*"*Pioneer Venus* Results". *Science*, v. 205, n. 4401, p. 41, 6 jul. 1979.
PRESS, Frank; SIEVER, Raymond. *Earth*. 2. ed. San Francisco: W. H. Freeman, 1978.
RYAN, Peter; PESEK, Ludek. *Solar System*. Nova York: Viking, 1979.
*SAGAN, Carl; TOON, Owen B.; POLLACK, James B. "Anthropogenic Albedo Changes and the Earth's Climate". *Science*, v. 206, p. 1363, 1979.
SHORT, Nicholas M.; LOWMAN, Paul D.; FREDEN, Stanley C.; FINSH, William A. *Mission to Earth: LANDSAT Views of the World*. Nasa SP-360. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1976.
SKYLAB Explores the Earth. Nasa SP-380. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1977.
THE SOLAR SYSTEM (*A Scientific American Book*). San Francisco: W. H. Freeman, 1975.
UREY, Harold Clayton. "Cometary Collisions in Geological Periods". *Nature*, v. 242, p. 32, 2 mar. 1973.
VITALIANO, Dorothy B. *Legends of the Earth*. Bloomington, IN: Indiana University Press, 1973.
*WHIPPLE, Fred Lawrence. *Comets*. Nova York: John Wiley, 1980.

5. BLUES PARA UM PLANETA VERMELHO

*AMERICAN GEOPHYSICAL UNION. *Scientific Results of the Viking Project*. Reimpressão do *Journal of Geophysical Research*, v. 8, p. 3959, 1977.
BATSON, Raymond M.; BRIDGES, Patricia M.; INGE, Jay L. *Atlas of Mars: The 1:5 000 000 Map Series*. Nasa SP-438. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1979.
BRADBURY, Ray; CLARKE, Arthur C.; MURRAY, Bruce; SAGAN, Carl; SULLIVAN, Walter. *Marte e a mente do homem*. Rio de Janeiro: Artenova, 1973.
BURGESS, Eric. *To the Red Planet*. Nova York: Columbia University Press, 1978.
GERSTER, Georg. *Grand Design: The Earth from Above*. Nova York: Paddington, 1976.
GLASSTONE, Samuel. *Book of Mars*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1968.
GODDARD, Robert H. *Autobiography*. Worcester, MA: A. J. St. Onge, 1966.
*______. *Papers*. Nova York: McGraw-Hill, 1970. 3 v.
HARTMANN, William K.; RAPER, Odell. *The New Mars: The Discoveries of Mariner 9*. Nasa SP-337. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1974.
HOYT, William G. *Lowell and Mars*. Tucson: University of Arizona Press, 1976.

LOWELL, Percival. *Mars*. Boston: Houghton Mifflin, 1896.
______. *Mars and its Canals*. Nova York: Macmillan, 1906.
______. *Mars as an Abode of Life*. Nova York: Macmillan, 1908.
MARS *as Viewed by Mariner 9*. Nasa SP-329. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1974.
MOROWITZ, Harold. *A essência da vida*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1981.
*MUTCH, Thomas A.; ARVIDSON, Raymond E.; HEAD, James W.; JONES, Kenneth L.; SAUNDERS, R. Stephen. *The Geology of Mars*. Princeton: Princeton University Press, 1976.
*PITTENDRIGH, Colin S.; VISHNIAC, Wolf; PEARMAN, J. P. T. (Orgs.). *Biology and the Exploration of Mars*.Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, 1966.
THE MARTIAN LANDSCAPE. Viking Lander Imaging Team, Nasa SP-425. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1978.
*"*VIKING 1* Mission Results". *Science*, v. 193, n. 4255, ago. 1976.
*"*VIKING 1* Mission Results". *Science*, v. 194, n. 4260, out. 1976.
*"*VIKING 2* Mission Results". *Science*, v. 194, n. 4271, dez. 1976.
*"THE *VIKING* MISSION and the Question of Life on Mars". *Journal of Molecular Evolution*, Berlim, v. 14, n. 1-3, dez. 1979.
WALLACE, Alfred Russel. *Is Mars Habitable?* Londres: Macmillan, 1907.
WASHBURN, Mark. *Mars at Last!* Nova York: G. P. Putnam, 1977.

6. HISTÓRIAS DE VIAJANTES

*ALEXANDER, Arthur Francis O'Donel. *The Planet Saturn*. Nova York: Dover, 1980.
BELL, Arthur E. *Christiaan Huygens and the Development of Science in the Seventeenth Century*. Nova York: Longman's Green, 1947.
DOBELL, Clifford. *Anton van Leeuwenhoek and His "Little Animals"*. Nova York: Russell and Russell, 1958.
DUYVENDAK, Jan Julius Lodewijk. *China's Discovery of Africa*. Londres: Probsthain, 1949.
*"FIRST SCIENTIFIC Results from *Voyager 1*". *Science*, v. 204, n. 4396, 1 jun. 1979.
*"FIRST SCIENTIFIC Results from *Voyager 2*". *Science*, v. 206, n. 4421, p. 927, 23 nov. 1979.
*GEHRELS, Tom (Org.). *Jupiter: Studies of the Interior, Atmosphere, Magnetosphere and Satellites*. Tucson: University of Arizona Press, 1976.
HALEY, K. H. *The Dutch in the Seventeenth Century*. Nova York: Harcourt Brace, 1972.
HUIZINGA, Johan. *Dutch Civilization in the Seventeenth Century*. Nova York: F. Ungar, 1968.
*HUNTEN, Donald (Org.). *The Atmosphere of Titan*. Nasa SP-340. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1973.
*HUNTEN, Donald; MORRISON, David (Orgs.). *The Saturn System*. Nasa Conference Publication 2068. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1978.
HUYGENS, Christiaan. *The Celestial Worlds Discover'd: Conjectures Concerning the Inhabitants, Planets an Productions of the Worlds in the Planets*. Londres: Timothy Childs, 1978.
MANUEL, Frank E. *A Portrait of Isaac Newton*.Washington, DC: New Republic, 1968.
MORRISON, David; SAMZ, Jane. *Voyager to Jupiter*. Nasa SP-439. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1980.
NEEDHAM, Joseph. *Science and Civilization in China*. Nova York: Cambridge University Press, 1970. v. 4, parte 3, pp. 468-553.
*PALLUCONI, Frank Don; PETTENGILL, Gordon H. (Orgs.). *The Rings of Saturn*. Nasa SP-343. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1974.
RIMMEL, Richard O.; SWINDELL, William; BURGESS, Eric. *Pioneer Odissey*. Nasa SP-349. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1977.
*"*VOYAGER 1* Encounter with Jupiter and Io". *Nature*, v. 280, p. 727, 1979.
WILSON, Charles H. *The Dutch Republic and the Civilization of the Seventeenth Century*. Londres: Weidenfeld and Nicholson, 1968.
ZUMTHOR, Paul. *A Holanda no tempo de Rembrandt*. São Paulo: Companhia das Letras, 1989.

7. A ESPINHA DORSAL DA NOITE

BAKER, Howard. *Persephone's Cave*. Athens, GA: University of Georgia Press, 1979.
BERENDZEN, Richard; HART, Richard; SEELEY, Daniel. *Man Discovers the Galaxies*. Nova York: Science History, 1977.
FARRINGTON, Benjamin. *A ciência grega*. São Paulo: Ibrasa, 1961.
FINLEY, Moses I. *Escravidão antiga e ideologia moderna*. Rio de Janeiro: Graal, 1991.
FRANKFORT, Henri et al. *Before Philosophy: The Intellectual Adventure of Ancient Man*. Chicago: University of Chicago Press, 1946.
HEATH, Thomas. *Aristarchus of Samos*. Cambridge: Cambridge University Press, 1913.
HEIDEL, Alexander. *The Babylonian Genesis*. Chicago: University of Chicago Press, 1942.
HODGES, Henry. *Technology in the Ancient World*. Londres: Allan Lane, 1970.
JEANS, James. *The Growth of Physical Science*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1951.
LUCRÉCIO. *Da natureza das coisas*. São Paulo: Abril Cultural, 1973. (Coleção Os Pensadores, v. 5).

MURRAY, Gilbert. *Four Stages of Greek Religion*. Nova York: Anchor, 1952.
RUSSELL, Bertrand. *História da filosofia ocidental*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2015. 3 v.
SARTON, George. *A History of Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1952, 1959. v. 1 e 2.
SCHRÖDINGER, Erwin. *Nature and the Greeks.* Cambridge: Cambridge University Press, 1954.
VLASTOS, Gregory. *Plato's Universe.* Seattle: University of Washington Press, 1975.

8. VIAGENS NO ESPAÇO E NO TEMPO

BARNETT, Lincoln. *O universo e o dr. Einstein*. 5. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1964.
BERNSTEIN, Jeremy. *As ideias de Einstein*. São Paulo: Cultrix, 1973.
BORDEN, Morton; GRAHAM, Otis L. *Speculations on American History*. Lexington, MA: D. C. Heath, 1977.
*BUSSARD, R. W. "Galactic Matter and Interstellar Flight". *Astronautica Acta*, v. 6, p. 179, 1960.
COOPER, Margaret. *The Inventions of Leonardo da Vinci*. Nova York: Macmillan, 1965.
*DOLE, Stephen H. "Formation of Planetary Systems by Aggregation: A Computer Simulation". *Icarus*, v. 13, p. 494, 1970.
DYSON, Freeman J. "Death of a Project" [Orion]. *Science*, v. 149, p. 141, 1965.
GAMOW, George. *Mr. Tompkins in Paperback*. Cambridge: Cambridge University Press, 1965.
HART, Ivor B. *Mechanical Investigations of Leonardo da Vinci*. Berkeley: University of California Press, 1963.
HOFFMAN, Banesh. *Albert Einstein: Creator and Rebel*. Nova York: New American Libray, 1972.
*ISAACMAN, Richard; SAGAN, Carl. "Computer Simulation of Planetary Accretion Dynamics: Sensitivity to Initial Conditions". *Icarus*, v. 331, p. 510, 1977.
LIEBER, Lillian; LIEBER, Hugh Gray. *The Einstein Theory of Relativity.* Nova York: Holt, Rinehart and Winston, 1961.
MACCURDY, Edward (Org.). *Notebooks of Leonardo*. Nova York: Reynal and Hitchock, 1938. 2 v.
*MARTIN, Anthony R. (Org.). "Project Daedalus: Final Report of the British Interplanetary Society Starship Study". *Journal of the British Interplanetary Society*, suplemento, 1978.
MCPHEE, John A. *The Curve of Binding Energy.* Nova York: Farrar, Strauss and Giroux, 1974.
*MERMIN, David. *Space and Time and Special Relativity.* Nova York: McGraw-Hill, 1968.
RICHTER, Jean-Paul. *Notebooks of Leonardo da Vinci*. Nova York: Dover, 1970.
SCHLIPP, Paul A. (Org.). *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. 3. ed. La Salle, IL: Open Court, 1970. 2 v.

9. A VIDA DAS ESTRELAS

EDDY, John A. *The New Sun: The Solar Results from Skylab.* Nasa SP-402. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1979.
*FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. *Lições de física de Feynman.* Porto Alegre: Bookman, 2008.
GAMOW, George. *Um, dois, três… infinito*. Rio de Janeiro: Zahar, 1962.
KASNER, Edward; NEWMAN, James R. *Matemática e imaginação*. Rio de Janeiro: Zahar, 1968.
KAUFMANN, William J. *Stars and Nebulas*. San Francisco: W. H. Freeman, 1978.
MAFFEI, Paolo. *Monsters in the Sky.* Cambridge, MA: MIT Press, 1980.
MURDIN, Paul; ALLEN, David. *Catalogue of the Universe.* Nova York: Crown, 1979.
*SHKLOVSKII, Iosif S. *Stars: Their Birth, Life and Death*. San Francisco: W. H. Freeman, 1978.
SULLIVAN, Walter. *Black Holes: The Edge of Space, the End of Time.* Nova York: Doubleday, 1979.
WEISSKOPF, Victor. *Indagação e conhecimento*. Porto Alegre: Edart; Funbec, 1975.
Excelentes textos universitários sobre anatomia incluem:
ABELL, George. *The Realm of the Universe*. Filadélfia: Sauders College, 1908.
BERMAN, Louis; EVANS, John C. *Exploring the Cosmos*. Boston: Little, Brown, 1980.
HARTMANN, William K. *Astronomy: The Cosmos Journey.* Belmont, CA: Wadworth, 1978.
JASTROW, Robert; THOMPSON, Malcolm H. *Astronomy: Fundamentals and Frontiers.* 3. ed. Nova York: Wiley, 1977.
PASACHOFF, Jay; KUTNER, Marc Leslie. *University Astronomy.* Filadélfia: Saunders, 1978.
ZEILIK, Michael. *Astronomy: The Evolving Universe.* Nova York: Harper and Row, 1979.

10. NA BEIRA DA ETERNIDADE

ABBOTT, Edwin. *Planolândia: Um romance de muitas dimensões*. São Paulo: Conrad, 2002.
*ARP, Halton. "Peculiar Galaxies and Radio Sources". *Science*, v. 151, p. 1214, 1966.
BOK, Bart; BOK, Priscilla. *The Milky Way*. 4. ed. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974.
CAMPBELL, Joseph. *A imagem mítica.* Campinas: Papirus, 1994.
FERRIS, Timothy. *The Red Limit: The Search by Astronomers for the Edge of the Universe.* Nova York: William Morrow, 1977.
______. *Galaxies*. San Francisco: Sierra Club, 1980.

GINGERICH, Owen (Org.). *Cosmology + I:Readings fromScientific American*. San Francisco: W. H. Freeman, 1977.
*JONES, Bernard. “The Origin of Galaxies: A Review of Recent Theoretical Developments and Their Confrontation with Observation”. *Reviews of Modern Physics*, v. 48, p. 107, 1976.
KAUFMANN, William J. *Black Holes and Warped Space-Time.* San Francisco: W. H. Freeman, 1979.
______. *Galaxies and Quasars.* San Francisco: W. H. Freeman, 1979.
ROTHENBERG, Jerome (Org.). *Technicians of the Sacred*. Nova York: Doubleday, 1968.
SILK, Joseph. *O Big Bang: A origem do universo.* Brasília: Ed. UnB, 1984.
SPROUL, Barbara C. *Mitos primais.* São Paulo: Siciliano, 1994.
*STOCKTON, Alan N. “The Nature of QSO Red Shifts”. *Astrophysical Journal*, v. 223, p. 747, 1978.
WEINBERG, Steven. *Os três primeiros minutos: Uma discussão moderna sobre a origem do universo.* Rio de Janeiro: Guanabara, 1980.
*WHITE, Simon D. M.; REES, Martin John. “Core Condensation in Heavy Halos: A Two-Stage Series for Galaxy Formation and Clustering”. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 183, p. 341, 1978.

11. A PERSISTÊNCIA DA MEMÓRIA

HUMAN *Ancestors: Readings fromScientific American*. San Francisco: W. H. Freeman, 1979.
KOESTLER, Arthur. *The Act of Creation*. Nova York: Macmillan, 1964.
LEAKEY, Richard E.; LEWIN, Roger. *Origins*. Nova York: Dutton, 1977.
*LEHNINGER, Albert L. *Biochemistry*. Nova York: Worth, 1975.
*NORRIS, Kenneth S. (Org.). *Whales, Dolphins and Porpoises*. Berkeley: University of California Press, 1978.
*PAYNE, Roger; MCVAY, Scott. “Songs of Humpback Whales”. *Science*, v. 173, p. 585, ago. 1971.
RESTAK, Richard M. *The Brain.* Nova York: Doubleday, 1979.
SAGAN, Carl. *Os dragões do Éden.* Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1980.
SAGAN, Carl; DRAKE, Frank D.; DRUYAN, Ann; FERRIS, Timothy; LOMBERG, Jon; SAGAN, Linda Salzman. *Murmúrios da Terra: O disco interestelar da Voyager.* Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1984.
*STRYER, Lubert. *Bioquímica.* 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
THE Brain (*A Scientific American Book*). San Francisco: W. H. Freeman, 1979.
*WINN, Howard E.; OLLA, Bori L. (Orgs.). *Behavior or Marine Animals*. Nova York: Plenum, 1979. v. 3: Cetaceans.

12. ENCICLOPAEDIA GALACTICA

ASIMOV, Isaac. *Civilizações extraterrenas.* Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1980.
BUDGE, E. A. Wallis. *Egyptian Language: Easy Lessons in Egyptian Hieroglyphics.* Nova York: Dover, 1976.
DE LAGUNA, Frederica. *Under Mount St. Elias: History and Culture of Yacutat Tlingit.* Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1972.
EMMONS, G. T. *The Chilkat Blanket.* Nova York: Memoirs of the American Museum of Natural History, 1907.
GOLDSMITH, Donald; OWEN, Tobias. *The Search for Life in the Univers.* Menlo Park: Benjamin-Cunnings, 1980.
KLASS, Philip. *UFOs Explained.* Nova York: Vintage, 1976.
KRAUSE, Aurel. *The Tlinglit Indians.* Seattle: University of Washington Press, 1956.
LA PÉROUSE, Jean-F. de G., conde de. *Voyage de la Pérouse Autour du Monde*. Paris: Imprimerie de la République, 1797. 4 v.
MALLOVE, Eugene; FORWARD, Robert L.; PAPROTNY, Zbigniew; LEHMANN, Jurgen. “Interstellar Travel and Communication: A Bibliography”. *Journal of the British Interplanetary Society*, v. 33, n. 6, 1980.
*MORRISON, Philip; BILLINGHAM, John; WOLFE, John. (Orgs.). *The Search for Extraterrestrial Intelligence.* Nova York: Dover, 1979.
*SAGAN, Carl (Org.). *Communication with Extraterrestrial Intelligence* (*CETI*). Cambridge, MA: MIT Press, 1973.
SAGAN, Carl; PAGE, Thornton (Orgs.). *UFOs: A Scientific Debate*. Nova York: W. W. Norton, 1974.
SHKLOVSKII, Iosif S.; SAGAN, Carl. *Intelligent Life in the Universe*. Nova York: Dell, 1967.
STORY, Ron. *The Space-Gods Revealed: A Close Look at the Theories of Erich von Daniken.* Nova York: Harper and Row, 1976.
VAILLANT, George C. *Aztecs of Mexico*. Nova York: Pelican, 1965.

13. QUEM FALA EM NOME DA TERRA?

DRELL, Sidney D.; VON HIPPEL, Frank. “Limited Nuclear War”. *Scientific American*, v. 235, p. 2737, 1976.
DYSON, Freeman. *Perturbando o universo.* Brasília: UnB, 1981.
GLASSTONE, Samuel (Org.). *The Effects of Nuclear Weapons.* Washington, DC: U.S. Atomic Energy Commission, 1964.
HUMBOLDT, Alexander von. *Cosmos.* Londres: Bell, 1871. 5 v.
MURCHEE, Guy. *The Seven Mysteries of Life*. Boston: Houghton Mifflin, 1978.
NATHAN, Otto; NORDEN, Heinz (Orgs.). *Einstein on Peace.* Nova York: Simon and Schuster, 1960.

PERRIN, Noel. *Giving Up the Gun: Japan's Reversion to the Sword 1543-1879*. Boston: David Godine, 1979.
PRESCOTT, James W. "Body Pleasure and the Origins of Violence". *Bulletin of the Atomic Scientists*, p. 10, nov. 1975.
*RICHARDSON, Lewis F. *The Statistics of Deadly Quarrels*. Pittsburgh: Boxwood, 1960.
SAGAN, Carl. *The Cosmic Connection: An Extraterrestrial Perspective*. Nova York: Doubleday, 1973.
WORLD Armaments and Disarmament. SIPRI Yearbook, 1980 e anos anteriores, Stockholm International Peace Research Institute. Nova York: Crane Russak and Company, 1980 e anos anteriores.

APÊNDICES

COURANT, Richard; ROBBINS, Herbert. *O que é matemática?* Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2000.

Créditos das imagens

1. Pintura de Jon Lomberg.
2. Pintura de Anne Norcia.
7. Cometa West, fotografado da Terra em fevereiro de 1976 por Martin Grossman, de Gromau, Alemanha Ocidental.

9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 28 e 29: Cortesia da Nasa.
20: Pintura de David Egge, 1979.
21: Fotografia de Joseph Sutorick.
22, 23 e 26: Cortesia de Hale Observatories.
24: Cortesia de Dan McSweeney.
27: Cortesia de Mary Leakey e National Geographic Society.

Sobre o autor

Carl Sagan foi professor de astronomia e ciências espaciais da cátedra David Duncan e diretor do Laboratório de Estudos Planetários, na Universidade Cornell. Teve papel relevante nos projetos das expedições das espaçonaves *Mariner*, *Viking*, *Voyager* e *Galileu*, o que lhe valeu as medalhas da Nasa por Realizações Científicas Excepcionais e (duas vezes) por Notável Serviço Público.

Sua série televisiva *Cosmos*, que ganhou os prêmios Emmy e Peabody, tornou-se o programa com maior audiência na história da TV pública americana. O livro dela derivado, também chamado *Cosmos*, é um dos mais vendidos sobre ciência publicados em língua inglesa. Sagan ganhou ainda o Prêmio Pulitzer, a Medalha Oersted e muitos outros prêmios — entre os quais vinte títulos honorários em faculdades e universidades americanas — por sua contribuição à ciência, à literatura, à educação e à preservação do meio ambiente. Em seu prêmio póstumo de mais alto grau ao dr. Sagan, a Fundação Nacional da Ciência dos Estados Unidos declarou que "sua pesquisa transformou a ciência planetária [...] suas dádivas ao gênero humano foram infinitas".

Carl Sagan morreu em 20 de dezembro de 1996.

CARL SAGAN
O mundo assombrado pelos demônios
COMPANHIA DE BOLSO

O mundo assombrado pelos demônios

Sagan, Carl

9788543802589

512 páginas

Assombrado com as explicações pseudocientíficas e místicas que ocupam cada vez mais os espaços dos meios de comunicação, Carl Sagan reafirma o poder positivo e benéfico da ciência e da tecnologia para iluminar os dias de hoje e recuperar os valores da racionalidade. Como todos os livros do autor, O mundo assombrado pelos demônios está cheio de informações surpreendentes, transmitidas com humor e graça. Seus ataques muitas vezes divertidos à falsa ciência, às concepções excêntricas e aos irracionalismos do momento são acompanhados por lembranças da infância, quando seus pais o colocaram em contato pela primeira vez com os dois modelos de pensamento fundamentais para o método científico: o ceticismo e a admiração.

Compre agora e leia

MARCELO
GLEISER
A dança do
Universo
COMPANHIA DE BOLSO

Companhia Das Letras
Leonardo Brasiliense
roupas sujas
romance

Roupas sujas

Brasiliense, Leonardo

9788554510244

184 páginas

Leonardo Brasiliense explora a força das tradições nas relações humanas — e o que constrói a identidade de uma família — neste poderoso romance ambientado no Sul do Brasil.Nesta comovente saga familiar, Leonardo Brasiliense retraça as consequências da perda da figura materna, e explora a brutalidade das relações humanas e sua persistência no tempo. No embate entre o poder indomável da natureza e a rigidez moral dos costumes, cada personagem ilustra a seu modo o mesmo conflito.Por meio de uma prosa cortante, que toma emprestados o vigor e a austeridade do ambiente doméstico rural do Sul do Brasil, Brasiliense faz da ausência a matéria-prima para o desenrolar de um drama a um só tempo particular e universal. Tão importante quanto aquilo que se diz é o que não se chega a pronunciar, e uma palavra represada na boca do filho temeroso ou do pai taciturno prenuncia a irrupção de segredos que podem ser guardados, mas não extintos.

Compre agora e leia

A descoberta da escrita

Knausgård, Karl Ove

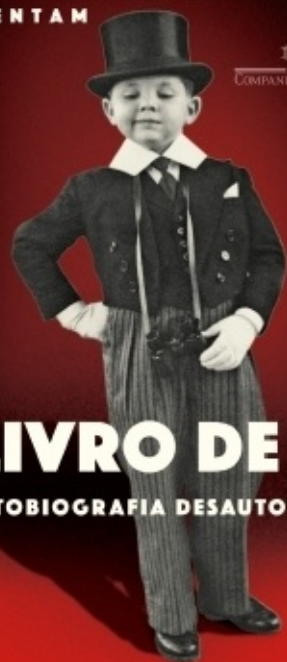
9788543810256

624 páginas

Compre agora e leia

No quinto volume da série Minha luta, Knausgård expõe com maestria e riqueza de detalhes seus anos de formação como escritor.Aqueles que acreditam que o talento literário se resume a uma vocação inata não podem deixar de ler A descoberta da escrita, quinto volume da série que ultrapassou as fronteiras da Noruega para ganhar o restante do mundo, consagrando-se como um dos maiores sucessos literários dos últimos tempos. Neste romance autobiográfico, o autor percorre seus anos de estudante de escrita criativa na cidade universitária de Bergen. Com a honestidade que lhe é característica, explicita as dificuldades e frustrações que permeiam o caminho de todo aspirante a romancista: “eu sabia pouco, queria muito e não conseguia nada”, confessa o narrador. Às intempéries da formação de escritor somam-se os conflitos e inseguranças da juventude, permeados por episódios de bebedeira, brigas, insucessos românticos e toda sorte de golpes ao narcisismo pueril daquele que viria a se tornar o maior escritor vivo da Noruega.

Compre agora e leia

JÔ SOARES
E MATINAS SUZUKI JR.
APRESENTAM
Companhia Das Letras
O LIVRO DE JÔ
UMA AUTOBIOGRAFIA DESAUTORIZADA
VOLUME 1

O livro de Jô - Volume 1

Soares, Jô

9788543811123

384 páginas

Em seu aguardado livro de memórias (desautorizadas!), Jô Soares ilumina os bastidores da própria vida com humor e inteligência irresistíveis.Prestes a completar oitenta anos e com verve mais afiada do que nunca, Jô Soares compartilha sua trajetória de astro midiático num livro de memórias escrito para fazer rir, chorar e, sobretudo, não esquecer.O primeiro volume resgata fatos, lugares e pessoas marcantes da juventude de Jô e reconstitui seus primeiros passos no mundo dos espetáculos, nas décadas de 1950 e 1960. Entre a infância dourada no Copacabana Palace e a dura conquista do estrelato, acompanhamos o autor do nascimento aos trinta anos. Os antecedentes familiares, a meninice privilegiada nos palácios da elite carioca, a mudança para um internato na Suíça, os marcos da formação cultural do futuro showman na adolescência, a paixão pelo jazz, a estreia modesta em pontas no cinema e na televisão, o primeiro casamento e, finalmente, a conquista do sucesso numa São Paulo fervilhante: tudo que você sempre quis saber sobre Jô, ele mesmo conta, com o talento narrativo do romancista de O Xangô de Baker Street e O homem que matou Getúlio Vargas.

Compre agora e leia